

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
INSINÖÖRITIEDEIDEN JA ARKKITEHTUURIN TIEDEKUNTA

Emilia Pöyry
PILAANTUNEIDEN ALUEIDEN KUNNOSTAMINEN RA-
KENTAMISTARKOITUKSIIN

Diplomityö, jätetty tarkastettavaksi 9.11.2009

Työn valvoja: Professori Markku Peltoniemi

Työn ohjaajat: DI Sakari Salonen
FM Kimmo Järvinen
DI Jukka Tengvall

Aalto-yliopisto
Teknillinen korkeakoulu
Rakennus- ja ympäristötekniikan kirjasto

Tekijä:	Emilia Pöry		
Diplomityö:	Pilaantuneiden alueiden kunnostaminen rakentamistarkoituksiin		
Päivämäärä:	9.11.2009	Sivumäärä:	58 + 12
Professuuri:	Geoympäristötekniikka	Koodi:	Yhd-33
Valvoja:	Professori Markku Peltoniemi		
Ohjaajat:	DI Sakari Salonen FM Kimmo Järvinen DI Jukka Tengvall		
Avainsanat:	Pilaantuneet maat, riskinarviointi, kunnostaminen, maankäytön suunnittelu		

Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointia koskeva valtioneuvoston asetus 214/2007 tuli voimaan 1.6.2007. Sen myötä Suomessa on ryhdytty painottamaan kohdekohtaista riskinarviointia pilaantuneiden kohteiden kunnostamisen suunnittelussa. Lisäksi vuonna 2008 julkaistussa valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa kiinnitetään huomiota maankäytön suunnittelun merkitykseen altistumisriskin pienentämisessä pilaantuneilla maa-alueilla sekä parhaan käyttökelpoisen menetelmän periaatteen kehittämiseen kunnostustoimien suunnittelussa.

Tässä työssä keskitytään kunnostettavan alueen tulevan maankäytön vaikutukseen terveys- ja ekologisiin riskeihin sekä kunnostusmenetelmien valintaan. Niiden ohella tarkastellaan sosiaalisia ja taloudellisia riskejä. Maankäyttömuodoista käsitellään asuin-, virkistys-, liikenne- sekä teollisuus- ja työpaikka-alueet. Altistusreiteistä suurin huomio on kiinnitetty merkityksellisimpiin: maan ja ravintokasvien syömiseen sekä sisäilman hengittämiseen. Lisäksi altistusreiteistä on käsitelty maapölyn ja ulkoilman hengittäminen.

Esimerkkikohteina on tarkasteltu viittä erilaista kunnostuskohdetta, jotka liittyvät kuhunkin käsitellyistä maankäyttömuodoista. Kunnostuskohteet on valittu siten, että niissä tulee esille mahdollisimman monipuolista riskinarviointia ja mahdollisimman monia käytössä olevia kunnostusmenetelmiä.

Työssä on määritetty teoreettisia terveysperusteisia maksimipitoisuuksia tietyille haitta-aineille maaperässä, kun altistusreittejä suljetaan. Lisäksi on tarkasteltu kunnostusmenetelmien soveltuvuutta eri maankäyttömuodoille. Jokaiselle maankäyttömuodolle on luotu oma "kunnostusmenetelmämatriisi", jota voidaan käyttää apuna menetelmiä valittaessa. Matriiseja laadittaessa on arvioitu menetelmien tehoa eri haitta-aineille ja niiden kestoja sekä maaperäolosuhteiden vaikutusta niiden soveltuvuuteen. Työssä on myös arvioitu maankäytön suunnittelun ja pilaantuneiden alueiden kunnostamisen tehokkaamman yhteensovittamisen ekologisia ja taloudellisia vaikutuksia.

Author:	Emilia Pöyry		
Thesis:	Remediation of contaminated land for construction purposes		
Date:	9.11.2009	Number of pages:	58 + 12
Professorship:	Geoenvironmental Technology	Code:	Yhd-33
Supervisor:	Professor Markku Peltoniemi		
Instructors:	Sakari Salonen, MSc(Tech) Kimmo Järvinen, MSc(Chem) Jukka Tengvall, MSc(Tech)		
Key words:	Contaminated soil, risk assessment, remediation, land use planning		

The Government Decree on the Assessment of Soil Contamination and Remediation Needs entered into force on June 1st 2007. Since then, site specific risk assessment has been emphasized on the planning of remediation of contaminated soil sites in Finland. The Finnish Ministry of Environment presents objectives for more effective waste management in the National Waste Plan, published in 2008. These objectives include land use planning as a way to reduce exposure on contaminated soil sites as well as intensifying the use of best available technology (BAT) in the planning of remedial methods.

In this thesis, mainly the influence of future land use on health and ecological risks and selecting remedial methods is studied. Furthermore, also the significance of social and economical risks is observed. The land use scenarios investigated are residential, recreational, traffic and industrial/commercial areas. The exposure routes concentrated on in the thesis are ones with the biggest significance: ingestion of contaminated soil particles, consumption of contaminated crops and inhalation of contaminated vapours via indoor air. In addition inhalation of contaminated vapours and soil particles outdoors are dealt with.

Five different remediation sites are presented as example cases concerning all of the four land use scenarios investigated. The cases have been chosen to represent as versatile risk assessment and as many different remediation methods as possible.

In this thesis, theoretical health based maximum concentrations in soil are defined for certain contaminants when exposure routes are being closed. In addition the suitability of different remediation methods for different land use scenarios are studied. A "remediation method matrix" has been created for every land use scenario, which can be used as accessory when selecting the proper method for a specific case. In the evaluation of the suitability of different methods, the efficiency of methods on contaminants, duration and soil conditions have been taken into account. The impact of more effective integration of land use planning and remediation of contaminated soil sites on ecological and economical factors is also observed.

Alkusanat

Työskennellessä maankunnostustyömailla ja katsellessa, kuinka kasettiautot karräävät tonnikaupalla pilaantunutta maata kymmenien - ellei satojen - kilometrien päähän, on ajoittain käynyt mielessä: "Onkohan tässä mitään järkeä?" Halusin perehtyä diplomityössäni ympäristöystävällisempään ja taloudellisempaan pilaantuneiden maiden riskinhallintaan. Toiveeni toteutui, kun esimieheni tarjosi työn aiheeksi tulevan maankäytön vaikutusta pilaantuneiden alueiden kunnostamiseen.

Suurimman kiitoksen ansaitsee professori Markku Peltoniemi, joka valvoi työni loppuun vielä eläkkeelle siirryttyään.

Suuret kiitokset myös Ramboll Finland Oy:lle mahdollisuudesta tehdä diplomityöni heille. Kiitokset ohjaajilleni, Sakari Saloselle, Kimmo Järviselle ja Jukka Tengvallille, asiantuntevista ja rakentavista kommentteista, joiden ansiosta olen oppinut työtä tehdesäni paljon.

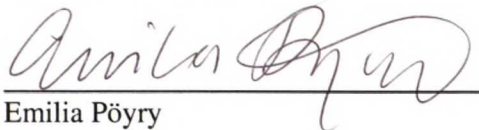
Kiitokset kaikille työkavereilleni Rambollin ympäristökonsultointiyksikössä kannustavan ja äärimmäisen mukavan työilmapiirin luomisesta sekä oikosulkuhetkien (ja välillä muidenkin hetkien) täyttämisestä hauskoilla nakkihommilla.

Kiitokset Töyhtöhyypille henkisen hyvinvointini edistämisestä. Lisäkiitokset Kitalle ja Tiitukselle oikoluvusta. Ansaititte henkilökohtaisen ATK-tukihenkilön loppuiäksenne.

Kiitokset Emmalle ja Viipulle riemukkaasta seurasta opiskeluvuosina (ja toivottavasti lukemattomina vuosina niiden jälkeenkin!).

Kiitokset vielä Äidille, Isälle, Antille ja Mummulle, jotka ovat tukeneet minua koko opiskeluni ajan. Ilman kannustustanne tuskin olisin saanut tutkintoa suoritetuksi.

Espoossa 9.11.2009



Emilia Pöyry

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lainsäädäntö	2
2.1	Kansainväliset sopimukset	2
2.2	EU:n ympäristöohjelma	2
2.3	EU:n säädökset	3
2.4	Kansalliset säädökset	3
2.4.1	Jätelaki	3
2.4.2	Maankäyttö- ja rakennuslaki	4
2.4.3	Ympäristönsuojelulaki	5
2.4.4	Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (PIMA-asetus)	6
2.4.5	Valtakunnallinen jätesuunnitelma	6
3	Haitta-aineiden aiheuttamat riskit	7
3.1	Terveysperusteiset riskit	7
3.1.1	Altistuminen ruoansulatuksen kautta	8
3.1.2	Altistuminen hengitysteitse	11
3.1.3	Suora ihokontakti	14
3.2	Ekologiset riskit	14
3.3	Haitta-aineiden kulkeutumisriski	15
3.4	Taloudelliset riskit	15
3.5	Sosiaaliset vaikutukset	16
3.6	Riskinarviointi muualla Euroopassa	16
4	Kunnostusmenetelmät	19
4.1	Massanvaihto	19
4.1.1	Kaivu	19
4.1.2	Sijoittaminen kaatopaikalle	20
4.1.3	Hyötykäyttö	21
4.1.4	Stabilointi ja kiinteytys	21
4.1.5	Terminen käsittely	22
4.1.6	Maan pesu	23
4.1.7	Kompostointi ja peltohajotus	23
4.2	Eristäminen	25
4.2.1	Peittäminen	26
4.3	Huokoskaasukäsittely	26
4.4	Fytoremediaatio	27
4.5	Maan huuhtelu	29
4.6	Reaktiiviset seinämät	30
4.7	Monitoroitu luontainen puhdistuminen	31
5	Kunnostaminen eri maankäyttömuotoihin	32
5.1	Asuinalueet	33
5.1.1	Altistujat	33
5.1.2	Haitta-aineiden merkittävimmät altistusreitit	33
5.1.3	Kunnostustavoitteet	34
5.1.4	Soveltuvat kunnostusmenetelmät	34
5.1.5	CASE: Tervasaaren entinen saha (Hamina)	35
5.2	Virkistysalueet	37

5.2.1	Altistujat	37
5.2.2	Haitta-aineiden merkittävimmät altistusreitit	37
5.2.3	Altistumisen estäminen ja kunnostustavoitteet	38
5.2.4	Soveltuvat kunnostusmenetelmät	38
5.2.5	CASE: Eiranranta (Helsinki)	39
5.3	Liikennealueet	41
5.3.1	Altistujat	41
5.3.2	Haitta-aineiden merkittävimmät altistusreitit	41
5.3.3	Altistumisen estäminen ja kunnostustavoitteet	41
5.3.4	Soveltuvat kunnostusmenetelmät	42
5.3.5	CASE: Kehä III (Vantaa)	42
5.4	Teollisuus- ja työpaikka-alueet	44
5.4.1	Altistujat	44
5.4.2	Haitta-aineiden merkittävimmät altistusreitit	44
5.4.3	Altistumisen estäminen ja kunnostustavoitteet	45
5.4.4	Soveltuvat kunnostusmenetelmät	45
5.4.5	CASE: Vantaco Oy, Säiliöalueen maaperän huokoskaasupuhdistus (Vantaa)	45
5.4.6	CASE: Mikkelin entinen kyllästämö	46
6	Johtopäätökset	50
6.1	Maankäytön vaikutus kunnostustarpeeseen ja -tavoitteisiin	50
6.2	Maankäytön vaikutus kunnostusmenetelmiin	53
6.3	Kaavoituksen suhde pilaantuneisiin maa-alueisiin	55

Liitteet

Liite 1	Haitta-aineiden ominaisuudet	4 sivua
Liite 2	Altistuslaskennan parametrit	1 sivu
Liite 3	Fugasiteettiyhtälöt ja diffuusiokertoimien laskentakaavat	2 sivua
Liite 4	Kunnostusmenetelmämatriisit	5 sivua

Merkkien selitykset

ADDi	keskimääräinen päivittäisannos yksittäisen altistusreitit kautta	[mg/kg · vrk]
AV	hengitystiheys	[m ³ /h]
b	korjauskertoimen kasviraiva vs. oktanoli	[-]
BCFr	biokertyvyystekijä maan ja kasvin juuren välillä	[mg/kg / mg/l]
BCFs	biokertyvyystekijä maan ja kasvin lehtien ja varren välillä	[mg/kg / mg/l] [kg/m ³] tai
Bulk	maaperän tiheys	[kg/l]
Cba	haitta-ainepitoisuus rakennuksen ryömintätilassa	[mg/m ³]
Cdp	kasvin lehdille laskeutuneesta maapölystä kasviin kertyvä pitoisuus	[mg/kg]
Cia	haitta-ainepitoisuus sisäilmassa	[mg/m ³]
Coa	haitta-ainepitoisuus ulkoilmassa	[mg/kg]
Cpw	huokosveden haitta-ainepitoisuus	[mg/l]
Cro	pitoisuus kasvissa (juuri), tuorepaino	[mg/kg]
Cs	haitta-aineen kokonaispitoisuus maaperässä	[mg/kg]
Csa	huokosilman haitta-ainepitoisuus	[mg/m ³]
Cst	pitoisuus kasvissa (lehdet ja varsi), tuorepaino	[mg/kg]
d	diffuusiorajakerroksen paksuus	[m]
Da	diffuusiokerroin ilmassa	[m ² /h]
Dp	pilaantumisen syvyys	[m]
Du	diffuusiokerroin maaperässä	[m ² /h]
dy	vuorokausia vuodessa	[vrk]
Ev	haihtuvan veden virtaus	[m ³ /m ² ·vrk]
fa	elimistöön imeytyvä osuus	[-]
fbi	ryömintätilan ja sisäilman haitta-ainepitoisuuksien suhde	[-]
fdwr	kasvin juuren kuivapaino	[kg]
fdws	kasvin lehtien ja varren kuivapaino	[kg]
F _{fat}	rasvan tilavuusosuus juurissa	[-]
Fr	pidättymiskerroin keuhkoissa	[-]
Fv	pilaantuneella alueella viljeltyjen kasvien osuus ravintokasvien kokonaiskulutuksesta	[-]
F _{water}	veden tilavuusosuus juurissa	[-]
He	ryömintätilan korkeus	[m]
ID	nieltävän maan määrä	[kg/vrk]

ITSP	hengitettyjen maapartikkeleiden määrä	[kg/vrk]
IVo	haihtuvien yhdisteiden keskimääräinen päivittäissaanti ulkoilman hengityksen kautta	[mg/kg vrk]
Jb ₃	kokonaisvirtaus maanpinnalle	[mg/m ² ·h]
Jba	kokonaisvirtaus ryömintätilaan	[mg/m ² ·h]
Kow	oktanolivesi-jakautumiskerroin	[-]
Le	ryömintätilan pituus	[m]
Pa	fugasiteettiyhtälöihin perustuva laskennallinen pitoisuusosuus huokosilmassa	[-]
Pw	fugasiteettiyhtälöihin perustuva laskennallinen pitoisuusosuus huokosvedessä	[-]
Qb	vihannesten kulutus, tuorepaino	[kg/vrk]
Qk	juuresten kulutus, tuorepaino	[kg]
Tdo	altistustiheys	[vrk]
ti	keskimääräinen oleskeluaika sisätiloissa	[h/vrk]
tiai	keskimääräinen oleskeluaika ulkona	[h/vrk]
W	kehon paino	[kg]
Va	ilman täyttämien huokosten osuus maaperässä	[-]
Vfa	ulkoilman laimenemisnopeus	[m/h]
Wi	ryömintätilan leveys	[m]
Vv	ilmanvaihtuvuus ryömintätilassa	[l/h]
Vw	veden täyttämien huokosten osuus maaperässä	[-]

Termien selitykset

Adsorptio	Aineen pidättyminen hiukkasen pinnalle
Advektio	Liuenneiden tai suspensioituneiden aineiden liikkuminen veden virtausten mukana
Alempi ohjearvo	Pitoisuus, jonka ylittyessä maaperää pidetään yleensä pilaantuneena, ellei aluetta käytetä teollisuus-, varasto- tai liikennealueena tai muuna vastaavana
BAT	(Best Available Technology) Paras käyttökelpoinen tekniikka
BEP	(Best Environmental Practice) Ympäristön kannalta paras toimintatapa
BTEX	yhteisnimitys öljyhiilivety-yhdisteille bentseeni, tolueeni, etyylibentseeni ja ksyleeni
Desorptio	Aineen vapautuminen hiukkasten pinnoilta liukoiseen muotoon
Diffuusio	Molekyylien siirtyminen väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan pitoisuuserojen tasoittamiseksi

Kynnysarvo	Pitoisuus, jonka ylittyessä maaperän pilaantuneisuus ja kunnostustarve on arvioitava
MTBE	Metyyli-tert-butyylieetteri
PAH	(Polyaromatic hydrocarbons) Polyaromaattiset hiilivedyt
PCB	(Polychlorinated biphenyl) Polyklooratut bifenyylit
POP	(Persistent organic pollutants) Pysyvät orgaaniset yhdisteet
PCDD/F	(Polychlorinated dibenzodioxins / furans) Polyklooratut dibentso-p-dioksiinit ja -furaanit
PIMA	Pilaantuneet maa-alueet
Sorptio	Aineen hiukkasiin pidättymisen ja niistä vapautumisen reaktioiden yhteisnimitys
SHP	Suurin haitaton pitoisuus
SHPT	Suurin haitaton pitoisuus teollisuusalueella
SVOC	(Semivolatile organic compounds) Puolihaihtuvat orgaaniset yhdisteet
Taustapitoisuus	Haitallisen aineen alueella luontaisesti esiintyvä pitoisuus
VOC	(Volatile organic compounds) Haihtuvat orgaaniset yhdisteet
Ylempi ohjearvo	Pitoisuus, jonka ylittyessä maaperää pidetään yleensä pilaantuneena, jos käytetään teollisuus-, varasto- tai liikennealueena tai muuna vastaavana

1 Johdanto

Suomen pilaantuneita maa-alueita kartoitettiin ensimmäisen kerran kattavasti saastuneiden maa-alueiden selvitysprojehtissa (ns. SAMASE-projehti), joka toteutettiin vuosina 1989 - 1994. Projehtin yhteydessä koottiin tiedot noin 10 000 pilaantuneesta alueesta. 2000-luvun alussa pilaantuneeksi epäiltyjä alueita oli noin 20 000 ja viimeisen 20 vuoden aikana niitä on kunnostettu yhteensä lähes 4000 kpl. Yleisin kunnostuksen syy on alueen maankäytön muutos. Jo SAMASE-projehtin yhteydessä huomattiin, että kaavoituksen ja rakentamisen yhteydessä oli harvoin huomioitu alueiden soveltuvuutta tulevaan maankäyttöön. (Ympäristöministeriö, 1994)

SAMASE-projehtin loppuraportissa annettiin pilaantuneisuuden arviointiin epäviralliset ohje- ja raja-arvot, jotka korvattiin vasta 1.6.2007 voimaan tullessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointia koskevassa valtioneuvoston asetuksessa 214/2007. Asetuksessa kiinnitetään huomiota myös pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointiin nimenomaan haitallisten aineiden terveyteen tai ympäristöön kohdistuvan vaaran tai haitan perusteella ja tätä kautta aineiden kulkeutumis- ja altistusmahdollisuuksiin.

Aikaisemmin pilaantuneita alueita on kunnostettu lähinnä haitallisten aineiden pitoisuuksien perusteella, mutta asetuksen myötä on siirrytty riskipainotteiseen tarkasteluun. Riskeihin vaikuttaa haitta-aineiden ominaisuuksien ja maaperä- ja pohjavesiolosuhteiden ohella oleellisesti myös kunnostettavan alueen tuleva maankäyttö.

Tässä työssä tarkastellaan nimenomaan tulevaan maankäyttömuotoon liittyviä terveysperusteisia riskitekijöitä ja niiden vaikutusta kunnostustavoitteisiin ja kunnostusmenetelmien valintaan. Myös ekologisia, sosiaalisia ja taloudellisia riskejä käsitellään. Lisäksi arvioidaan kaavoituksen ja pilaantuneiden alueiden kunnostamisen suhdetta toisiinsa. Haitta-aineiden kulkeutumiseen ja pohjavesivaikutuksiin liittyvät riskitekijät on rajattu työn ulkopuolelle.

2 Lainsäädäntö

2.1 Kansainväliset sopimukset

YK:n ensimmäinen teemakonferenssi pidettiin Tukholmassa. Konferenssi käsitteli ympäristöasioita, ja 16.6.1972 hyväksyttiin Yhdistyneiden Kansakuntien ihmisen elinympäristöä koskeva julistus. Maaperän pilaantumiseen ei vielä kiinnitetty huomiota, mutta julistuksen kolmannessa periaatteessa asetetaan, että maan kykyä tuottaa elintärkeitä uudistuvia luonnonvaroja tulee ylläpitää ja, mahdollisuuksien mukaan, ennallistaa tai parantaa. Konferenssissa käynnistettiin myös YK:n ympäristöohjelma, UNEP (United Nations Environment Programme).

1972 annetussa Euroopan neuvoston peruskirjassa otetaan kantaa maaperänsuojeluun ja jäsenvaltioita pyydetään edistämään maaperänsuojelupolitiikkaa.

1983 perustettiin YK:n päätöksellä riippumaton Ympäristön ja kehityksen maailmankomissio, jonka raportissa "Yhteinen tulevaisuutemme" määritetään kestävä kehitys kehitykseksi, joka tyydyttää nykyhetken tarpeet viemättä tulevilta sukupolvilta mahdollisuutta tyydyttää omat tarpeensa.

Toinen ympäristöasioita koskeva YK:n konferenssi pidettiin Rio de Janeirossa vuonna 1992. Tämän seurauksena syntyi ympäristöä ja kehitystä koskeva Rion julistus sekä sen konkretisoiva toimintaohjelma kestävän kehityksen edistämiseksi, Agenda 21. Julistuksen kantavaksi teemaksi on nostettu kestävä kehitys. Ohjelman luvussa 10 käsitellään maankäytön suunnittelun ja hallinnan tehostamista.

Vuonna 2000 UNEP ja Euroopan ympäristövirasto julkaisivat raportin Down to earth: Soil degradation and sustainable development in Europe. Raportissa pilaantuminen tunnistetaan yhdeksi seitsemästä suurimmasta maaperän uhasta. (www.unep.org)

2.2 EU:n ympäristöohjelma

EU käynnisti ensimmäisen ympäristöohjelmansa vuonna 1972 ja sitä on päivitetty vuosina 1978, 1982, 1987, 1992 sekä viimeksi vuonna 2002, jolloin hyväksyttiin EU:n kuudes ympäristöä koskeva toimintaohjelma seuraaville kymmenelle vuodelle. Yksi ohjelman seitsemästä teemakohtaisesta strategiasta koskee maaperää. Strategian päätaivoitteet ovat maaperän huonontumisen estäminen ja sen säilyttäminen toimintakykyisenä sekä huonontuneiden alueiden ennallistaminen siten, että ne soveltuvat nykyiseen tai tulevaan käyttötarkoitukseensa ottaen kuitenkin huomioon kustannukset. Strategiaan sisältyvät Euroopan komission tiedonanto muille Euroopan instituutioille, maaperän suojelun puitedirektiiviehdotus (COM(2006) 232) sekä vaikutusten arviointi. (Euroopan komission maaperäsivusto)

Puitedirektiiviehdotuksessa määrätään jäsenvaltiot kartoittamaan pilaantuneet alueet sekä varmistamaan, että ne kunnostetaan siten, että alueet eivät aiheuta merkittävää riskiä ihmisten terveydelle tai ympäristölle. Puitedirektiiviä käsiteltiin neuvoston istunnossa Brysselissä 20.12.2007, jolloin sen hyväksyminen ei saavuttanut tarvittavaa määränemmistöä. Osa jäsenvaltioista ei hyväksynyt tekstiä, koska niiden mielestä maaperäs-

tä ei tule neuvotella Euroopan laajuudessa mittakaavassa. Joidenkin jäsenvaltioiden mielestä taas direktiivin toimeenpano kansallisesti tulisi liian kalliiksi ja sen käyttöönotto aiheuttaisi liikaa kuormitusta. (Lehdistötiedote, neuvoston 2842. istunto)

Euroopan neuvostossa ei ole päästy sopimukseen puitedirektiiviehdotuksesta. Asian käsittelyä jatketaan vuoden 2009 toisella puoliskolla (Ruotsin puheenjohtajakausi) ja vuonna 2010 (Espanjan ja Belgian puheenjohtajakaudet). (Euroopan komission maaperäsivusto)

2.3 EU:n säädökset

Euroopan parlamentin ja neuvoston asettamassa ympäristövastuudirektiivissä (2004/35/EY) asetetaan pilaaja maksaa –periaatteeseen perustuva ympäristövastuujärjestelmä eli ympäristövahingon sattuessa sen aiheuttajan on maksettava siitä aiheutuvat kustannukset. Ympäristövahingon tapahtuessa toimivaltaisen viranomaisen on velvoitettava asianomainen toiminnanharjoittaja suorittamaan asianmukaiset korjaavat toimenpiteet. Ympäristön ennallistamisen on tapahduttava tehokkaasti ja siten, että varmistetaan asianmukaisten ennallistamistavoitteiden saavuttaminen.

Direktiivin liitteessä II asetetaan puitteet maaperälle aiheutuvien korjaavien toimenpiteiden valinnalle. Toteutettavilla toimenpiteillä on varmistettava ainakin, että kyseessä olevat saasteet poistetaan, niitä valvotaan tai vähennetään tai ne eristetään siten, että pilaantunut maaperä ei enää aiheuta huomattavaa vaaraa ihmisten terveydelle tämän hetkessä tai hyväksytyssä tulevassa käytössään. Mahdollisten riskien olemassaolo on arvioitava siten, että huomioidaan maaperän ominaisuudet ja käyttötarkoitus, vahingollisten aineiden, valmisteiden, eliöiden tai mikro-organismien tyyppi ja pitoisuus, niiden esiintymisriski ja leviämismahdollisuus. Jos maan käyttöä muutetaan, toteutetaan kaikki tarvittavat toimenpiteet ihmisten terveydelle aiheutuvan vakavan vaaran ehkäisemiseksi. On myös otettava huomioon mahdollisuus luonnolliseen palautumiseen ilman ihmisen suoraa vaikutusta.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa pysyvistä orgaanisista yhdisteistä (POP-yhdisteet) sekä direktiivin 79/117/ETY muuttamisesta (850/2004/EY) asetetaan raja-arvopitoisuudet, joiden ylittyessä POP-yhdisteitä sisältävät jätteet on käsiteltävä siten, että niissä olevat yhdisteet tuhotaan tai muunnetaan palautumattomasti aineiksi, joilla ei ole samanlaisia ominaisuuksia, elleivät jotkin muut menetelmät ole ympäristön kannalta parempia. Raja-arvot ovat PCB-yhdisteille ja torjunta-aineille 50 mg/kg ja PCDD/PCDF-yhdisteille 0,015 mg/kg. (EURlex)

2.4 Kansalliset säädökset

2.4.1 Jätelaki

Pilaantuneilta maa-alueilta kaivetut maa-ainekset luokitellaan jätteeksi ja niitä koskevat jätelainsäädännön velvoitteet. Ympäristöministeriön asetuksessa yleisimpien jätteiden sekä ongelmajätteiden luettelosta (1129/2001) ne on jaoteltu nimikeryhmiin 17 05 03(*), maa- ja kiviainekset, jotka sisältävät vaarallisia aineita ja 17 05 04, muut kuin 17 05 03 mainitut maa- ja kiviainekset. Asetuksen nimikeryhmässä 19 13 luetellaan vielä erikseen maaperän ja pohjaveden kunnostamisessa syntyvät jätteet, joihin kuuluvat esimerkiksi kiinteät jätteet ja lietteet.

Maa-ainesjäte voidaan ominaisuuksiensa perusteella luokitella tavanomaiseksi tai ongelmajätteeksi(*). Maa-ainesjäte luokitellaan ongelmajätteeksi vain, jos nimikkeessä tarkoitettuja vaarallisia aineita esiintyy sellaisina pitoisuuksina, että jätteellä on yksi tai useampi jäteasetuksen (1390/1993) liitteessä 4 luetelluista ominaisuuksista, käytännössä vain, jos niiden pitoisuudet ylittävät ongelmajäteraja-arvot. Nimikkeeseen 17 05 04 luokitellaan sekä puhtaat maat että ne pilaantuneet maat, jotka alittavat ongelmajätearvopitoisuudet. (Jaakkonen, 2008)

Jätelain tavoitteeksi on asetettu jätteistä aiheutuvan vaaran ja haitan torjuminen terveydelle ja ympäristölle. Sen mukaan kaikessa toiminnassa on mahdollisuuksien mukaan huolehdittava siitä, että jätettä syntyy mahdollisimman vähän ja ettei jätteestä aiheudu merkityksellistä haittaa tai vaikeutta jätehuollon järjestämiselle eikä vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Tuotannon harjoittajan velvollisuudeksi asetetaan raaka-aineiden säästeliäs käyttö sekä sen korvaaminen jätteellä. Lisäksi viranomaisen on huolehdittava siitä, että se omassa toiminnassaan edistää edellä mainitun velvollisuuden toteutumista.

Jätelain 6§:ssä määrätään, että syntyvä jäte on hyödynnettävä ensisijaisesti aineena ja toissijaisesti energiana, mikäli siitä ei aiheudu kohtuuttomia lisäkustannuksia. Lisäksi määrätään, että jätehuollossa on käytettävä parasta käyttökelpoista tekniikkaa sekä mahdollisimman hyvää terveys- ja ympäristöhaitan hallintamenetelmää ja jätteet on käsiteltävä jossakin lähimmistä asianmukaisista jätteen käsittelypaikoista. Kuitenkin, jätteestä tai jätehuollosta ei saa aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Jätteen saa luovuttaa vain hyväksytylle vastaanottajalle, ympäristöluvan haltijalle tai taholle, joka ylläpitää jätteen laitos- tai ammattimaista hyödyntämistä tai käsittelyä, joka ei vaadi ympäristölupaa ja on merkitty ympäristönsuojelun tietojärjestelmään. (FINLEX)

2.4.2 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Maankäyttö- ja rakennuslaissa asetetaan alueiden käytön ja rakentamisen tavoitteeksi luoda edellytykset hyvälle elinympäristölle, sekä edistää kestävästä kehitystä ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti. Alueiden käyttöä ohjataan kaavoituksella. Valtakunnallisessa laajuudessa kaavoituksesta päättää valtioneuvosto, maakuntakaavoista ympäristöministeriö ja kuntien alueilla kunnanvaltuustot. Alueiden käytön suunnittelussa pyritään mm. yhdyskuntarakenteen ja alueiden käytön taloudellisuuteen, ympäristönsuojelun edistämiseen ja ympäristöhaittojen ehkäisemiseen sekä luonnonvarojen säästeliääseen käyttöön. Lisäksi kaavaa laadittaessa määrätään selvitettäväksi suunnitelman ja tarkasteltavien vaihtoehtojen toteuttamisen ympäristövaikutukset. Yksi rakentamisen ohjauksen tavoitteista on edistää rakentamista, joka perustuu elinkaariominaisuuksiltaan kestäviin ja taloudellisiin, sosiaalisesti ja ekologisesti toimiviin sekä kulttuuriarvoja luoviin ja säilyttäviin ratkaisuihin.

Maankäyttö- ja rakennusasetuksessa määrätään lisäksi selvityksistä, joilla voidaan arvioida suunnitelman vaikutukset ihmisen elinoloihin ja -ympäristöön, maa- ja kallioperään, veteen, ilmaan ja ilmastoon, kasvi- ja eläinlajeihin, luonnon monimuotoisuuteen ja luonnonvaroihin, alue- ja yhdyskuntarakenteeseen, yhdyskunta- ja energiatalouteen sekä liikenteeseen ja kaupunkikuvaan, maisemaan, kulttuuriperintöön ja rakennettuun ympäristöön.

Valtakunnallisissa alueidenkäyttötavoitteissa määrätään, että suunnittelussa on otettava huomioon alueen maa- ja kallioperän soveltuvuus suunniteltuun käyttöön. Lisäksi pilaantuneiden maa-alueiden puhdistustarve on selvitettävä ennen kaavan toteuttamistoi-
miin ryhtymistä. Alueiden käytössä on myös kiinnitettävä erityistä huomiota ihmisten terveydelle aiheutuvien haittojen ja riskien ennaltaehkäisemiseen ja olemassa olevien haittojen poistamiseen. Lisäksi olemassa olevat ympäristöhaitat sekä poikkeukselliset luonnonolot on tunnistettava ja niiden vaikutuksia ehkäistävä.

Ympäristöministeriön antamassa asetuksessa maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa kaavoissa käytettävistä merkinnöistä (31.3.2000) on annettu omat merkinnät pilaantuneiden maa-alueiden esittämiseen kaavakartoissa. Yksi kaavamerkintöjen kehittämisen lähtökohta on ollut tavoite vuorovaikutteisemmasta suunnittelusta. (FINLEX)

2.4.3 Ympäristönsuojelulaki

Ympäristönsuojelulain ensimmäinen pykälä aloitetaan ilmoittamalla lain tavoitteeksi ehkäistä ympäristön pilaantumista sekä poistaa ja vähentää pilaantumisesta aiheutuvia vahinkoja. Lisäksi lain tavoitteena on ehkäistä jätteiden syntyä ja haitallisia vaikutuksia sekä edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä.

Ympäristön pilaantuminen määritellään laissa

- aineen
- energian
- melun
- värinän
- säteilyn
- valon
- lämmön tai
- hajun

päästämisellä tai jättämisellä ympäristöön siten, että se yksin tai muiden päästöjen kanssa aiheuttaa

- terveyshaittaa
- haittaa luonnolle tai sen toiminnoille
- luonnonvarojen käyttämisen estymistä tai melkoista vaikeutumista
- yleisen viihtyvyyden tai erityisten kulttuuri- tai virkistyskäyttöön soveltuvien vähentymistä sekä
- vahinkoa tai haittaa omaisuudelle tai sen käytölle tai
- muuta näihin rinnastettava yleisen tai yksityisen edun loukkausta.

Valtioneuvosto voi asetuksella säätää suurimmista sallituista pitoisuuksista maaperässä sekä pilaantuneen maaperän käsittelystä ja eristämisestä, teknisistä vaatimuksista sekä puhdistusmenetelmistä, tarkkailusta ja valvonnasta. Näin se on tehnytkin asetuksella 214/2007.

Pilaantuneen maaperän ja pohjaveden puhdistamisesta määrätään lain luvussa 12. Mahdollisesta pilaantumisesta on aiheuttajan välittömästi ilmoitettava valvontaviranomaiselle. Pilaaja on velvollinen puhdistamaan alueen siten, ettei siitä voi aiheutua terveyshaittaa, eikä haittaa tai vaaraa ympäristölle. Alueen puhdistuksessa on otettava huomioon sen ympäristön ja pohjaveden nykyinen ja tuleva käyttö sekä terveydelle ja ympäristölle

mahdollisesti aiheutuva haitta. Pilaantuneiden maiden käsittelyyn tarvitaan ympäristölupa tai ilmoituksesta tehtävä päätös. Ilmoitus alueelliselle ympäristökeskukselle riittää, jos alueen laajuus ja pilaantumisen aste on riittävästi selvitetty, noudatetaan yleisesti käytössä olevaa hyväksyttävää puhdistusmenetelmää ja toiminnasta ei aiheudu muuta pilaantumista.

Laissa määrätään, että ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavalle toiminnalle on haettava ympäristölupa ja toteutuksessa on käytettävä parasta käyttökelpoista tekniikkaa (Best Available Technology, BAT) sekä noudatetaan ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi tarkoituksenmukaisia ja kustannustehokkaita eri toimien yhdistelmiä, kuten työmenetelmiä sekä raaka- ja polttoainevalintoja (Best Environmental Practice, BEP). Näitä samoja periaatteita tulisi noudattaa myös pilaantuneiden alueiden kunnostuksissa. (FINLEX)

2.4.4 Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (PIMA-asetus)

Valtioneuvoston asetuksessa 214/2007 on asetettu pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin perusteeksi haitallisten aineiden aiheuttama haitta tai vaara terveydelle ja ympäristölle. Arvioinnissa on huomioitava haitta-aineiden pitoisuuksien ja määrien lisäksi niiden kulkeutumismahdollisuudet, alueen nykyinen ja tuleva käyttötarkoitus, altistumismahdollisuudet lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, altistumisen seuraukset terveyteen ja ympäristöön sekä aineiden mahdolliset yhteisvaikutukset. Lisäksi tulee huomioida tutkimus- ja arviointimenetelmien epävarmuustekijät.

Asetuksessa esitetään myös kynnysarvot sekä alemmat ja ylemmät ohjearvot (liite 1), joita on käytettävä apuna pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa. Kynnysarvon ylittyessä maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on arvioitava. Ylempiä ohjearvoja käytetään pilaantuneisuuden vertailuarvoina teollisuus-, varasto-, liikenne- tai vastaavilla alueilla ja alempia ohjearvoja muilla alueilla. (FINLEX)

2.4.5 Valtakunnallinen jätesuunnitelma

Valtakunnallisen jätesuunnitelman tavoitteeksi 3.4 asetetaan PIMA-kohteiden ekotehokas kunnostaminen. Tavoitteeseen pyritään kehittämällä riskinarviointia ja arvioinnin hyödyntämistä käytännössä, yhtenäistämällä kunnostus- ja käsittelyvaatimuksia sekä lisäämällä valtion jätehuoltotöiden kunnostusmäärärahoja. Nämä tavoitteet sisältävät mm. maankäytön suunnittelun käyttämiseen altistumisriskin pienentämisessä sekä BAT-ohjeistuksen ja toimeenpanon kehittämisen. Muiksi toimiksi suositellaan kunnostuksien rahoittamista tiettyjen kemikaalien käyttöön liittyvillä maksuilla, ympäristöhallinnon maaperän tilan tietojärjestelmän ylläpitoa ja kehittämistä sekä koulutuksen ja riskinarvioinnin kehittämistä ja median ja yleisön tiedon tason parantamista tuottamalla maallikolle ymmärrettävää tiedotusaineistoa PIMA-kysymyksistä. (Ympäristöministeriö, 2008)

Valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa todetaan, että pilaantuneen maan ja sedimenttien kunnostustoimiin ei ole tarpeen ryhtyä tapauksissa, joissa alueen voidaan ennakoida puhdistuvan luontaisesti tai joissa kunnostamisesta saatava ympäristöhyöty on pienempi kuin siitä aiheutuva haitta. (Ympäristöministeriö, 2008)

3 Haitta-aineiden aiheuttamat riskit

Yleisesti riski muodostuu haittojen vakavuuden ja todennäköisyyden perusteella. Maaperän pilaantuneisuuden arvioinnissa käytettävät kynnys- ja ohjearvot on määritelty ekologisten ja terveysperusteisten riskien perusteella. Lisäksi haitta-aineiden kulkeutuminen pilaantuneen alueen ulkopuolelle ja ennen kaikkea pinta- ja pohjavesiin aiheuttaa oman riskinsä, jota yleensä tarkastellaan erillään terveys- ja ekologisista riskeistä. Toiminnan harjoittajan kannalta voidaan erillisenä osana tarkastella myös pilaantuneisuuden aiheuttamia taloudellisia haittoja.

Haitta-aineille on määritetty sekä ekologiset että terveysperusteiset viitearvot. Viitearvot on määritetty siten, että (Ympäristöministeriö, 2007)

- kynnysarvot vastaavat pitoisuutta, josta aiheutuva riski on merkityksetön,
- alemmat ohjearvot suurinta hyväksyttävää pitoisuutta asuinalueilla ja
- ylempät ohjearvot suurinta hyväksyttävää pitoisuutta teollisuusalueilla.

Suurin osa ohjearvoista määräytyy ekologisten viitearvojen perusteella.

Riskinarvioinnilla kunnostustavoitteet voidaan määrittää kohdekohtaisesti ja huomioida kohteen ekologis-, terveys- ja taloudellisperusteiset riskit. Tällöin alueen maankäyttö tulee huomioiduksi.

3.1 Terveysperusteiset riskit

Altistustarkastelussa lähdetään liikkeelle tunnistamalla mahdolliset altistujat ja todennäköiset altistusreitit. Tämän jälkeen arvioidaan altistuksen määrä kohteessa olevien haitta-ainepitoisuuksien perusteella. Altistuslaskennan avuksi on tehty monia malleja, joilla voidaan helposti laskea altistusta erilaisissa kohteissa vaihtelemalla altistusparametreja. Merkittävimmät altistusreitit ovat voimakkaasti riippuvaisia havaittujen haitta-aineiden ominaisuuksista ja alueen maankäytöstä. Haitta-aineille on laskettu hyväksyttävät maksimipitoisuudet, joiden avulla on määritetty erilaisia ohjearvoja kunnostustavoitteiden asettamiseen.

Maaperän pilaantuneisuuden arvioinnissa käytettävät terveysperusteiset ohjearvot on määritetty käyttäen apuna ensisijaisesti hollantilaisten ympäristö- ja terveysviranomaisien ja EU:n kemikaalitoimiston esittämiä ohjeita. Liitteen 2 taulukossa on esitetty sekä Hollantilaisen CSoil-mallin oletusskenaariossa (asuinalue, jolla on puutarha) että Suomen terveysperusteisten viitearvojen laskennassa käytettyjen altistusparametrien arvot (Brand ym. 2007, Reinikainen, 2007). Näistä parametreista maankäytöllä voidaan tärkeimpinä vaikuttaa altistustiheyteen, oleskelu-aikaan sisätiloissa sekä pilaantuneella alueella viljeltyjen kasvien osuuteen kokonaiskulutuksesta. Kunnostustoimilla voidaan vaikuttaa pilaantuneisuuden syvyyteen maanpinnasta ja pilaantuneella alueella viljeltyjen kasvien osuuteen kokonaiskulutuksesta sekä maaperän ominaisuuksiin, kuten pH:hon ja maa-aineksen tiheyteen.

Laskennassa käytetyt haitta-ainekohtaiset arvot löytyvät liitteestä 1 ja laskentaparametrien oletusarvot liitteestä 2. Fugasiteettiyltälöt ja diffuusiokertoimien laskenta on esitetty liitteessä 3.

Altistusparametrien perusteella on määritetty merkittävimmät altistusreitit, jotka vaihtelevat pilaantuneen kohteen ja siellä esiintyvien haitta-aineiden ominaisuuksien mukaan. Haitta-aineet voivat päästä elimistöön ruoansulatuksen, hengityselinten ja ihon kautta. Merkittävimmät altistusreitit riippuvat haitta-aineista, mutta CSoil-mallin mukaan lähes kaikille haitta-aineille vähintään 90 % altistuksesta tapahtuu kolmea pääreittiä pitkin. Nämä reitit ovat haitta-ainepartikkeleiden kulkeutuminen elimistöön ruoansulatuksen kautta, haihtuvien yhdisteiden hengittäminen sisäilmasta ja pilaantuneella alueella viljeltyjen ravintokasvien syöminen. (Reinikainen, 2007)

Vähäistä altistusta tapahtuu myös ihokosketuksessa (max 7 %, bentso(ghi)peryleenille), juomaveden mukana yhdisteille, jotka adsorboituvat vesijohtoveteen (max 13 %, kresolille) ja ihon kautta pesuvien välityksellä (max 5 %, p-diklooribentseenille ja styreenille). Merkityksettömäksi arvioitua altistusta tapahtuu myös haitta-aineiden hengittämisessä ulkoilmasta (alle 1 % kaikille yhdisteille), yhdisteiden hengittämisessä vedestä suihkun tai kylvyn aikana (max 1 %, joillekin klooribentseeneille ja styreenille) sekä maapartikkeleiden hengittämisessä (max 1 %, jotkin polyklooratut aromaattiset yhdisteet, DDT ja manebi). (Otte ym. 2001).

Asuinalueen viitearvot on määritetty lapsuusiän ja aikuisiän yhteenlasketun keskimääräisen päivittäissaanin perusteella. Määrittämisessä lapsuuden kestoksi on oletettu 6 vuotta ja aikuisiän 64 vuotta. Keskimääräinen elinikäinen päivittäisannos määritetään kaavalla 1.

$$ADD_{tot} = \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n ADD_{ilapsi} + 64 \cdot \sum_{i=1}^n ADD_{iaikuinen}}{70} \quad (1)$$

ADD_i = keskimääräinen päivittäisannos yksittäisen altistusreitin kautta [mg/kg · vrk]

Ohjearvoista antimonin, lyijyn, bentso(a)pyreenin, PCB- ja PCDD/F-yhdisteiden alemmat ohjearvot ja aromaattisten sekä useimpien kloorattujen alifaattisten hiilivetyjen alemmat ja ylemmät ohjearvot on määritetty terveysperusteisten riskien perusteella. (VnA 214/2007)

Liitteenä 1 on taulukko haitta-aineista, niiden ohjearvoista, suositelluista enimmäissaan- timäärästä sekä merkittävimmistä altistusreiteistä.

3.1.1 Altistuminen ruoansulatuksen kautta

Taajama-alueilla pohjavesi pääsee harvoin altistamaan haitta-aineille, sillä vedenlaatua tarkkaillaan ja vesijohtovesi kulkee puhdistusprosessin läpi. Haja-asutusalueella kaivo- veden pilaantuneisuus saattaa kuitenkin aiheuttaa altistusta. Pahimmillaan ongelma saat- taan olla pysyvä ja vedestä ei saada enää juomakelpoista, joten paikoissa, joissa pohjave- den pilaantumisen uhka on olemassa, on olennaista, että pilaantuminen huomataan ja kunnostetaan ajoissa.

Useimmat alkuaineet pääsevät elimistöön tehokkaimmin pilaantuneilla alueilla kasva- neiden ravintokasvien kautta. Tämäkin reitti korostuu haja-asutus- ja omakotitaloalueil- la, joilla useammin viljellään ravintokasveja sekä virkistysalueilla, joilla kasvaa mar-

joja ja sieniä käytetään ravinnoksi. Vaikka ravintokasvit ovat altistusreittinä olennainen vain sellaisilla alueilla, joilla ravintokasveja viljellään, se on ollut määräävä tekijä monien haitta-aineiden SHP_{ter} -arvojen määrittämisessä. SHP_{ter} -arvojen määrittämisessä on oletettu omassa puutarhassa kasvatettujen kasvien osuudeksi 10% päivittäisestä kasvien kulutuksesta. (Reinikainen, 2007)

Keskimääräinen päivittäissaanti pilaantuneella alueella viljeltyjen ravintokasvien syönnin kautta määritetään kaavalla 2 (Reinikainen, 2007).

$$VI = \frac{(Qk \cdot Cro + Qb \cdot Cst) \cdot fv \cdot fa}{W} \quad (2)$$

Qk = juuresten kulutus, tuorepaino [kg]

Cro = pitoisuus kasvissa (juuri) tuorepaino [mg/kg]

Qb = vihannesten kulutus, tuorepaino [kg/vrk]

Cst = pitoisuus kasvissa (lehdet/varsit), tuorepaino [mg/kg]

fv = pilaantuneella alueella viljeltyjen kasvien osuus ravintokasvien kokonaiskulutuksesta [-]

fa = elimistöön imeytyvä osuus [-]

W = kehon paino [kg]

Pitoisuus kasvin juuressa (Cro) määritetään eri tavoin orgaanisille ja epäorgaanisille haitta-aineille. Orgaanisille haitta-aineille käytetään kaavaa 3 ja epäorgaanisille kaavaa 5 (Reinikainen, 2007).

$$Cro_{org} = BCFr \cdot Cpw \quad (3)$$

$BCFr$ = biokertyvyystekijä maan ja kasvin juuren välillä [mg/kg / mg/l] (haitta-ainekohtainen, esitetty liitteessä 1)

Cpw = huokosveden haitta-ainepitoisuus [mg/l] (kaava 4, Reinikainen, 2007)

$$Cpw = \frac{Cs \cdot Bulk \cdot Pw}{Vw} \quad (4)$$

Cs = haitta-aineen kokonaispitoisuus maaperässä [mg/kg]

$Bulk$ = maaperän tiheys [kg/l]

Pw = fugasiteetti-yhtälöihin (liite 3) perustuva laskennallinen pitoisuusosuus vedessä [-]

Vw = veden täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]

Koska veteen liuenneen aineen määrä ei voi ylittää aineen vesiliukoisuutta, käytetään huokosveden haitta-ainepitoisuutena haitta-aineen vesiliukoisuutta (S), jos se on matalampi kuin kaavalla 4 saatu huokosveden haitta-ainepitoisuus (Brand ym. 2007).

$$Cro_{met} = BCFr \cdot Cs \cdot fdwr \quad (5)$$

$BCFr$ = biokertyvyystekijä maan ja kasvin juuren välillä [mg/kg / mg/l] (haitta-ainekohtainen, esitetty liitteessä 1)

Cs = haitta-aineen kokonaispitoisuus maaperässä [mg/kg]

$fdwr$ = kasvin juuren kuivapaino [kg]

Haitta-aineen pitoisuus kasvin lehdistä ja varressa (Cst) määritetään orgaanisille aineille kaavalla 6 (Reinikainen, 2007) ja metalleille kaavalla 7.

$$Cst_{org} = BCFs \cdot Cpw + Cdp \cdot fdws \quad (6)$$

BCFs = biokertyvyystekijä maan ja kasvin lehtien ja varren välillä [mg/kg / mg/l] (kaava 11)

Cpw = huokosveden haitta-ainepitoisuus [mg/l], (kaava 4)

Cdp = kasvin lehdille laskeutuneesta maapölystä kasviin kertyvä pitoisuus [mg/kg], (kaava 8)

fdws = kasvin lehtien ja varren kuivapaino [kg]

$$Cst_{met} = BCFs \cdot Cs \cdot fdws + Cdp \cdot fdws \quad (7)$$

BCFs = biokertyvyystekijä maan ja kasvin lehtien ja varren välillä [mg/kg / mg/l] (haitta-ainekohtainen, esitetty liitteessä 1)

Cs = haitta-aineen kokonaispitoisuus maaperässä [mg/kg]

fdws = kasvin lehtien ja varren kuivapaino [kg]

Cdp = kasvin lehdille laskeutuneesta maapölystä kasviin kertyvä pitoisuus [mg/kg], (kaava 8)

CSoil-mallin oletusarvoilla kasvin lehdille laskeutuvasta maapölystä kasviin kertyvä pitoisuuden laskentakaava saadaan yksinkertaistettua kaavaksi 8 (Reinikainen, 2007).

$$Cdp = 1,089 \cdot 10^{-3} \cdot Cs \quad (8)$$

Cs = haitta-aineen kokonaispitoisuus maaperässä [mg/kg]

Biokertyvyystekijät metalleille on määritetty laboratorio- ja kenttätutkimuksin ja ne on esitetty liitteessä 1. Orgaanisten haitta-aineiden biokertyvyystekijät määritetään niiden oktanoli-vesi-jakautumiskertoimien perusteella. Biokertyvyystekijä maan ja kasvin juuren välillä orgaanisille haitta-aineille, joiden $Kow \leq 4,5$ lasketaan kaavalla 9 ja muille kaavalla 10 (Reinikainen, 2007).

$$BCFr = 10^{0,77 \cdot \log Kow - 1,52} + 0,82 \quad (9)$$

Kow = oktanoli-vesi-jakautumiskerroin [-] (haitta-ainekohtainen, esitetty liitteessä 1)

$$BCFr = F_{water} + F_{fat} \cdot Kow^b \quad (10)$$

F_{water} = veden tilavuusosuus juurissa [-]

F_{fat} = rasvan tilavuusosuus juurissa [-]

Kow = oktanoli-vesi-jakautumiskerroin [-] (haitta-ainekohtainen, esitetty liitteessä 1)

b = korjauskoroin kasvivasva vs. oktanoli [-]

Biokertyvyystekijä huokosveden ja kasvin lehtien ja varren välillä lasketaan kaikille orgaanisille aineille kaavalla 11 (Reinikainen, 2007).

$$BCFs = (10^{0,95 \cdot \log Kow - 2,05} + 0,82) \cdot (0,784 \cdot 10^{\frac{-0,434 \cdot (\log Kow - 1,78)^2}{2,44}}) \quad (11)$$

Kow = oktanoli-vesi-jakautumiskerroin [-] (haitta-ainekohtainen, esitetty liitteessä 1)

Yksityiskohtana voidaan mainita, että ravintokasveihin voi päästä haitta-aineita myös pilaantuneen kasteluveden mukana. Eräässä esimerkkikohteessa kasteluveden sinkkipitoisuudeksi mitattiin 0,39 mg/l ja yhden mansikantaimen arvioitiin saavan vettä n. 1 litra satokaudessa. Tämän arveltiin lisäävän sinkkipitoisuutta n. 1-2 % mansikan luontaisesta pitoisuudesta (1,1-1,9 mg/kg tuorepainossa) ($SHP_{ter} > 10000$ mg/kg).

Erityisesti lapsille merkittävän altistusriskin muodostaa maan syönti. Lapset voivat ulkona leikkiessään syödä tahallisesti maata, kun taas aikuisten suun kautta altistuminen tapahtuu lähinnä likaisten käsien kautta ja on vähäistä. Merkittävää altistusta maan nielemisen seurauksena tapahtuu vain päällystämättömillä alueilla, joilla haitta-aineita esiintyy pintamaassa. Tällöinkin altistus on merkittävää vain, jos maan kanssa ollaan kosketuksissa säännöllisesti, kuten lasten leikkipaikoilla tai asuintalojen puutarhoissa.

Keskimääräinen päivittäisaltistus maan syönnin kautta määritetään kaavalla 12 (Reinikainen, 2007).

$$AID = \frac{ID \cdot \frac{Tdo}{dy} \cdot Cs \cdot fa}{W} \quad (12)$$

ID = nieltävän maan määrä [kg/vrk]

Tdo = altistustiheys [vrk]

dy = vuorokausia vuodessa [vrk]

Cs = haitta-aineen kokonaispitoisuus maaperässä [mg/kg]

fa = elimistöön imeytyvä osuus [-]

W = kehon paino [kg]

Ruoansulatuksen kautta altistuminen on merkittävintä metalleille ja torjunta-aineille, joilla erityisesti altistuminen ravintokasvien kautta vaikuttaa laskennallisiin viitearvoihin. Metalleilla ainoastaan lyijyn ja kromin viitearvojen laskennassa maan nieleminen on arvioitu ravintokasvien syöntiä merkittävämmäksi reitiksi. Myös useimmille PAH-yhdisteille ruoansulatusreitit muodostavat merkittävimmän altistuksen. Viitearvojen määrittämisessä PCB- ja PCDD/F-yhdisteille ravintokasvit muodostavat lähes 99 % kokonaisaltistuksesta, kloorifenoleille 50 - 89 %. (Reinikainen, 2007)

3.1.2 Altistuminen hengitysteitse

Hengitysteitse tapahtuva altistus vaikuttaa yleensä voimakkaimmin herkimpiin elimistön osiin, kuten keuhkoihin. Haitta-aineet voivat päästä hengityselimistöön sisäilman, ulkoilman ja maapölyn kautta sekä pienissä määrin haihtumalla vesijohtovedestä. Haitta-aineet voivat liikkua ilmassa kaasumaisina, tai kiinnittyneinä hiukkasiin, kuten pintamaan pölyyn. Mitä pienempi aineen vesiliukoisuus (S) on sen höyrynpaineeseen (Vp) verrattuna, sitä herkemmin aine haihtuu huokosilmaan. Haitta-aineiden vesiliukoisuus siis vaikuttaa merkittävästi laskennalliseen altistumiseen hengitysilman kautta haihtuvilla orgaanisilla haitta-aineilla. (Reinikainen, 2007)

Sisäilman kautta altistuminen on merkittävintä asuinalueilla ja työpaikoilla, joissa sisätiloissa vietetään paljon aikaa. Sisäilman kautta altistuminen riippuu kuitenkin pitoisuuksien ohella myös rakennusteknisistä ja ilmastollisista tekijöistä.

Sisäilman hengityksen kautta aiheutuva haihtuvien yhdisteiden keskimääräinen päivittäisaanti määritetään kaavalla 13 (Reinikainen, 2007):

$$IVI = \frac{AV \cdot Cia \cdot ti \cdot fa}{W} \quad (13)$$

AV = hengitystiheys [m^3/h]
 Cia = haitta-ainepitoisuus sisäilmassa [mg/m^3], (kaava 14)
 ti = keskimääräinen oleskeluaika sisätiloissa [h/vrk]
 fa = elimistöön imeytyvä osuus [-]
 W = kehon paino [kg]

Haitta-ainepitoisuus määritetään kaavalla 14 (Reinikainen, 2007).

$$Cia = Cba \cdot fbi \quad (14)$$

Cba = haitta-ainepitoisuus rakennuksen ryömintätilassa [mg/m^3], (kaava 15)
 fbi = ryömintätilan ja sisäilman haitta-ainepitoisuuksien suhde [-]

Haitta-ainepitoisuus rakennuksen ryömintätilassa määritetään kaavalla 15 (Reinikainen, 2007).

$$Cba = \frac{Jba \cdot Le \cdot Wi}{Le \cdot Wi \cdot He \cdot Vv} \quad (15)$$

Jba = kokonaisvirtaus ryömintätilaan [$mg/m^2 \cdot h$] (kaavat 16-17)
 Le = ryömintätilan pituus [m]
 Wi = ryömintätilan leveys [m]
 He = ryömintätilan korkeus [m]
 Vv = ilmanvaihtuvuus ryömintätilassa [l/h]

Haitta-aineen kulkeutuminen rakennuksen ryömintätilaan ei voi olla suurempaa kuin rajakerroksessa tapahtuva diffuusio. Siksi Jba määritetään joko diffuusion ja haihtuvan veden aiheuttamana kokonaisvirtauksena (kaava 16) tai rajakerrosvirtauksen perusteella (kaava 17), riippuen siitä, kumpi on pienempi. (Reinikainen, 2007)

$$Jba_1 = \frac{Du \cdot Cs \cdot Bulk}{Dp - He} + Cpw \frac{Ev}{24} \quad (16)$$

Du = diffuusiokerroin maaperässä [m^2/h] (liite 3)
 Cs = haitta-aineen kokonaispitoisuus maaperässä [mg/kg]
 $Bulk$ = maaperän tiheys [kg/m^3]
 Dp = pilaantumisen syvyys [m]
 He = ryömintätilan korkeus [m]
 Cpw = huokosveden haitta-ainepitoisuus [mg/l] (kaava 4)
 Ev = haihtuvan veden virtaus [$m^3/m^2 \cdot vrk$]

$$Jba_2 = Da \cdot Csa \frac{0,001}{d} \quad (17)$$

Da = diffuusiokerroin ilmassa [m^2/h]
 Csa = huokosilman haitta-ainepitoisuus [mg/m^3] (kaava 18)
 d = diffuusiorajakerroksen paksuus [m]

Huokosilman haitta-ainepitoisuus määritetään huokosveden haitta-ainepitoisuudesta kaavalla 18 (Reinikainen, 2007).

$$C_{sa} = \frac{C_{pw} \cdot 1000 \cdot V_w \cdot P_a}{P_w \cdot V_a} \quad (18)$$

C_{pw} = huokosveden haitta-ainepitoisuus [mg/l] (kaava 4)

V_w = veden täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]

P_a = fugasiteettiyhtälöihin perustuva laskennallinen pitoisuusosuus huokosilmassa [-]

P_w = fugasiteettiyhtälöihin perustuva laskennallinen pitoisuusosuus huokosvedessä [-]

V_a = ilman täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]

Ulkoilmassa haihtuvien aineiden pitoisuudet laimenevat yleensä nopeasti, joten ulkoilman hengityksen merkitys altistuksessa on usein pieni. Myöskään maapölyn kautta tapahtuva altistus ei ole kokonaisaltistuksen kannalta merkittävä reitti. (Reinikainen, 2007) Kuitenkin esimerkiksi kunnostustyömaalla työskenteleville sekä haihtuvien yhdisteiden hengittäminen ulkoilmasta että maapölyn kautta tapahtuva altistuminen voivat nousta merkitykselliseksi. Maapölyn hengittämisen merkitys korostuu myös alueilla, joilla pölyäminen on voimakasta (esim. urheilukentät) ja haitta-aineet sijaitsevat pinta-
maassa.

Ulkoilman ja pölyn hengittämisen kautta tapahtuvalle altistukselle on esitetty yhtälöt hollantilaisessa CSoil-mallissa. Haihtuvien yhdisteiden keskimääräinen päivittäissaanti ulkoilman hengityksen kautta lasketaan kaavalla 19 (Brand ym. 2007).

$$IV_o = \frac{AV \cdot Co_a \cdot t_o \cdot f_a}{W} \quad (19)$$

IV_o = haihtuvien yhdisteiden keskimääräinen päivittäissaanti ulkoilman hengityksen kautta [mg/kg · vrk]

Co_a = haitta-ainepitoisuus ulkoilmassa [mg/kg] (kaava 20)

t_o = keskimääräinen oleskeluaika ulkona [h/vrk]

f_a = elimistöön imeytyvä osuus [-]

W = kehon paino [kg]

Haitta-ainepitoisuus ulkoilmassa voidaan laskea kaavalla 20 (Rikken ym. 2001).

$$Co_a = \frac{Jb_3}{Vf_a} \quad (20)$$

Jb_3 = kokonaisvirtaus maanpinnalle [mg/m²·h]

Vf_a = ulkoilman laimenemisnopeus [m/h]

Kokonaisvirtaus maanpinnalle ei voi olla rajakerroksessa tapahtuvaa diffuusiota suurempi. Jos rajakerroksessa tapahtuva diffuusio on kokonaisvirtausta pienempi, määritetään virtaus maanpinnalle kaavalla 17. Muuten käytetään kaavaa 21 (Rikken ym. 2001).

$$Jb_{a_4} = \frac{Du \cdot Cs \cdot Bulk}{Dp} + C_{pw} \frac{Ev}{24} \quad (21)$$

Du = diffuusiokerroin maaperässä [m²/h]

Cs = haitta-aineen kokonaispitoisuus maaperässä [mg/kg]

$Bulk$ = maaperän tiheys [kg/m³]

Dp = pilaantumisen syvyys [m]

Cpw = huokosveden haitta-ainepitoisuus [mg/l] (kaava 4)
Ev = haihtuvan veden virtaus [m³/m²·vrk]

Keskimääräinen päivittäissaanti hengitetyn pölyn kautta lasketaan kaavalla 22 (Brand ym. 2007).

$$IP = \frac{Cs \cdot ITSP \cdot Fr \cdot fa}{W} \quad (22)$$

Cs = haitta-aineen kokonaispitoisuus maaperässä [mg/kg]
ITSP = hengitettyjen maapartikkeleiden määrä [kg/vrk]
Fr = pidättymiskerroin keuhkoissa [-]
fa = elimistöön imeytyvä osuus [-]
W = kehon paino [kg]

3.1.3 Suora ihokontakti

Hyvin harvat aineet pystyvät läpäisemään ihoa ja siksi suoraa ihokontaktia ei pidetä merkittävänä altistusreitinä. Poikkeuksen tekee antraseeni, jolle altistus suihkuveden kautta muodostaa CSoil-mallin mukaan merkittävimmän altistusreitin (51,3 % kokonaisaltistuksesta). (Reinikainen, 2007). Jotkut haitta-aineet voivat aiheuttaa iho-oireita, mutta tämä yleensä huomataan nopeasti ja altistus ei ole pitkäaikaista.

Myös fenoli, aniliini ja torjunta-aineet voivat imeytyä haitallisessa määrin elimistöön ehjän ihon läpi. (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2007)

3.2 Ekologiset riskit

Ekologisilla riskeillä tarkoitetaan pilaantuneen alueen vaikutusta paikalliseen eliöstöön. Vaikutukset voivat ilmetä esimerkiksi lisääntymis- ja käyttäytymisongelmina ja tätä kautta yksilöiden määrän muutoksina tai kokonaisten lajien häviämisenä, mikä johtaa muutoksiin alueen biodiversiteetissä. Siinä missä terveysriskejä tarkastellaan lähinnä yksilötasolla, ekologinen riskinarviointi kohdistetaan lajeihin ja prosesseihin. Terveysriskien ja ekologisten riskien välillä on kuitenkin myös yhteneväisyyksiä, esim. aineiden ympäristökäyttämisen merkitys korostuu molemmissa. Ekologiset riskit voivat myös välillisesti aiheuttaa terveysriskejä. (Pellinen ym. 2007)

Eliöiden altistuminen on usein suurempaa kuin ihmisen, joten ekologiset viitearvot ovat lähes kaikille haitta-aineille pienempiä kuin terveysperusteiset. Poikkeuksen tekevät haihtuvat hiilivedyt, esimerkiksi bentseenin SHP_{ter}-arvo on 0,2 mg/kg ja SHP_{eko}-arvo 180 mg/kg. Metallien, PAH-yhdisteiden ja torjunta-aineiden ohjearvot on asetettu pääosin ekologisten riskien perusteella, ainoastaan antimonin, lyijyn, bentso(a)pyreenin, heptakloorin ja lindaanin alemmat ohjearvot perustuvat terveysriskeihin. Myös PCB-yhdisteiden ja kloorattujen hiilivetyjen ylemmät ohjearvot perustuvat enimmäkseen ekologiin riskeihin. (VnA 214/2007)

Ekologisen riskin arvioinnissa käytetään usein ainoastaan kemiallista menetelmää eli kohteesta otettujen maanäytteiden pitoisuuksien suoraa vertailua viitearvoihin. Tästä saadaan kuitenkin vain suuntaa-antavaa tietoa ja todellisia riskejä yliarvioidaan. Kemiallisen menetelmän ohella voidaan tarvittaessa käyttää esimerkiksi malliekosysteemin

tutkimista laboratorio-olosuhteissa, biomonitorointia tai ekologistia tutkimuksia todellisen riskin kartoittamiseksi. (Ympäristöministeriö, 2007)

Kaupunki-, liikenne- ja teollisuusalueilla maankäytön vaikutus alueen ekologiaan on hyväksytty jo kaavoitusvaiheessa, joten perusteellinen ekologinen riskinarviointi on näissä kohteissa harvoin tarpeen. Riski on kuitenkin arvioitava aina, jos haitta-aineet voivat kulkeutua ja aiheuttaa vaikutuksia herkemmille alueille.

3.3 Haitta-aineiden kulkeutumisriski

Haitta-aineiden liikkuvuus voi vaihdella monien tekijöiden vaikutuksesta. Maaperäolosuhteet, orgaanisen aineen määrä ja muut haitta-aineet voivat vaikuttaa yhdisteiden koostumukseen, liikkuvuuteen ja toksisuuteen. Lisäksi monet haitta-aineet esiintyvät erilaisissa muodoissa, joiden ominaisuudet voivat vaihdella hyvinkin voimakkaasti. Esimerkiksi elohopea voi pelkistyä luonnossa metalliseen muotoon, joka on herkästi haihtuvaa, tai muuntua mikrobiologisesti metyylielohopeaksi, joka on rasvaliukoisena ja voimakkaasti kertyvänä elohopean toksisin muoto. (Reinikainen, 2007)

Kuitenkin, haitta-aineiden mahdollinen kulkeutuminen pilaantuneen alueen ulkopuolelle (esim. pohjavesialueelle) on aina arvioitava. Tarkennettu kohdearviointi tulee suorittaa, jos haitta-aineiden kulkeutuminen pilaantuneen alueen ulkopuolelle voi aiheuttaa uusien alueiden pilaantumista tai ympäristön laadun merkittävää huononemista. (Ympäristöministeriö, 2007)

Maankäyttö ja kunnostustoimet vaikuttavat myös haitta-aineiden kulkeutumiseen, mutta se on rajattu tämän työn ulkopuolelle.

3.4 Taloudelliset riskit

Pilaantuneen alueen käyttöä täytyy usein rajoittaa, jolloin sen arvo laskee. Paitsi, että pilaantuneisuus aiheuttaa terveysriskejä alueen käyttäjille, haitta-aineet voivat vaikeuttaa rakentamista tai haitata jo olemassa olevia rakenteita. Kunnostuskustannukset riippuvat voimakkaasti kunnostustavoitteista, jotka taas määritetään alueen käyttötarkoituksen mukaan. Jos alueelle halutaan rakentaa esimerkiksi asuntoja, joudutaan suorittamaan mittavia, kalliita kunnostustoimenpiteitä, mistä seuraa kustannuksia. Vaikkei pilaantuneisuus hankaloittaisikaan alueen käyttöä nykyisellään, muodostuu siitä alueelle rasite. Hankalasti pilaantuneilla ja vaikeasti kunnostettavilla alueilla saattaakin olla syytä harkita tarkemmin alueen käyttötarkoitusta.

Asuinalueilla kunnostuskustannukset voidaan alueen arvonnoususta johtuen kohdistaa tontin ostajalle, mutta esimerkiksi puistoalueilla kustannukset jäävät yhteisön maksettaviksi. Toisaalta, yksityisenkin omistamalla tontilla pilaantuneisuus on rasite, joka täytyy huomioida kiinteistökauppoja tehdessä.

Myös kunnostusmenetelmien valintaan liittyy taloudellisia riskejä. Toiset menetelmät ovat herkempiä aiheuttamaan yllättäviä ongelmia ja arvaamattomia lisäkustannuksia kuin toiset. Eristettäessä massojen määrän ja niiden laadun muuttuminen eivät juuri vaikuta kunnostustoimenpiteisiin, kun taas massanvaihdoissa ne vaikuttavat kustannuksiin huomattavasti. Huolellisilla ennakkotutkimuksilla ja suunnitelmilla yllättäviäkin kustannuksia voidaan kuitenkin usein välttää.

3.5 Sosiaaliset vaikutukset

Ympäristön pilaantumisella ja kunnostustoimilla voi olla vaikutuksia myös alueen viihtyisyyteen sekä muuhun yksityiseen tai yhteiseen etuun. Nämä voivat ilmetä esimerkiksi hajuhaittoina. Vaikka pilaantuneisuus ei aiheuttaisikaan riskejä ihmisten terveydelle tai alueen ekologialle, saattavat ihmisten mielikuvat aiheuttaa pelkoa tai jopa välillisiä terveyshaittoja sekä hankaloittaa alueen kehittämistä. Ekologisilla, maisemallisilla ja terveysvaikutuksilla on osaltaan myös sosiaalisia merkityksiä.

Sosiaalisten ja kulttuuristen vaikutusten arviointimenetelmät (SVA) pilaantuneiden alueiden riskinhallintatoimien suunnittelussa eivät ole vielä vakiintuneita, mutta ne ovat kuitenkin olennainen osa esimerkiksi YVA-menettelyä. YVAN osana voidaan tarkastella myös hankkeen vaikutuksia ihmisiin, jolloin puhutaan ihmisiin kohdistuvien vaikutusten arvioinnista (IVA). Tähän kuuluvat yhtenäisenä osana terveysvaikutusten ja sosiaalisten vaikutusten arviointi. Sosiaaliin vaikutuksiin luetaan elinoloihin, väestöön, palveluihin, viihtyvyyteen, yhdyskuntarakenteeseen, maisemaan, kaupunkikuvaan ja kulttuuriperintöön kohdistuvat vaikutukset. (www.ymparisto.fi) YVA-menettely ei kuitenkaan tavallisesti koske pilaantuneiden alueiden kunnostuksia, ellei kohde ole erityisen merkittävä.

Paitsi alueen pilaantuneisuudella, myös kunnostuksella on sosiaalisia merkityksiä. Ympäristöluvan vaativissa hankkeissa lupaviranomainen tiedottaa hakemuksesta kuulutuksella ja hankkeen vaikutusalueen asukkailla ja viranomaisilla on mahdollisuus esittää muistutuksia, vaatimuksia ja mielipiteitä. Muistutuksen tehneet saavat lupapäätöksen tiedoksi, mutta vuorovaikutusta ei lupakäsittelyssä ole. Kuulutukset ovat nähtävillä ympäristöviranomaisten toimipaikoissa ja vaatii omaa aktiivisuutta olla selvillä vireillä olevista hankkeista. (Sorvari ja Antikainen, 2004)

Pilaantuneet alueet voivat rajoittaa ihmisten elämää, vaikka terveysriskiä ei olisikaan. Esimerkiksi pilaantuneeksi tiedettyä puistoa saatetaan vältellä. Tällaisia tilanteita voitaisiin välttää tiedotuksella ja avoimella keskustelulla. Parhaassa tapauksessa kunnostuskohteista voitaisiin tehdä "turistikohteita", joihin alueen asukkaat voisivat tulla tutustumaan kunnostusmenetelmiin ja saada hyödyllistä tietoa ympäristöasioista. Vuorovaikutus alueen asukkaiden kanssa on tärkeää jo ennen kunnostuksen aloittamista. Pitkään alueella asuneilta voi löytyä historiatietoa, joka on hyödyllistä jo tutkimusten suunnitteluvaiheessa. Asukkaat voivat myös kokea, että heiltä pimitetään tietoa, jos tiedottamista ei aloiteta tarpeeksi varhaisessa vaiheessa. Toisaalta pilaantumisepäilyistä tiedottaminen liian aikaisessa vaiheessa voi osaltaan johtaa ongelmiin.

3.6 Riskinarviointi muualla Euroopassa

Useissa Euroopan maissa on käytössä samantyyppinen viitearvojärjestelmä kuin Suomessa. Viitearvot kuitenkin vaihtelevat maakohtaisesti voimakkaastikin. Useimmissa maissa terveysperusteiset viitearvot on määritelty maankäyttömuodoittain, ainoastaan Hollannin ja Slovakian käyttämissä viitearvoissa ei ole huomioitu maankäyttömuotoja. Käytetyt maankäyttömuodotkin vaihtelevat maittain, mutta useimmista löytyvät erotelut viljelyalueet, asuinalueet, virkistysalueet ja teollisuusalueet. Ekologiset viitearvot on määritelty maankäyttömuodoittain vain Belgiassa, Suomessa ja Ruotsissa. Monissa maissa on käytössä myös alueen pohjavesikäytön mukaan määrittyviä viitearvoja. Hol-

lannissa ja Puolassa on myös erilaisia viitearvoja eri syvyyksissä sijaitseville pitoisuuksille ja Puolassa lisäksi maaperän erilaisille hydraulisille johtavuuksille. (Carlton, 2007)

Eri maiden viitearvoja vertailtaessa huomataan, että alempia ohjearvoja (screening value for potentially unacceptable risk (residential soil use), mahdollisesti sietämättömän riskipitoisuuden viitearvo asuinkäytössä) lukuun ottamatta Suomen viitearvot ovat konservatiivisimpia useille haitta-aineille. Alempien ohjearvojen osalta Suomi kuuluu keskikastiin. Vertailua ylempien ohjearvojen (screening values for potentially unacceptable risk (industrial soil-use), mahdollisesti sietämättömän riskipitoisuuden viitearvo teollisuuskäytössä) suuruuksista on esitetty taulukossa 1. (Carlton, 2007)

Taulukko 1 Teollisuusalueiden viitearvoja Euroopassa (Carlton, 2007)

	Belgia (Flander)	Belgia (Vallonia)	Suomi	Italia	Puola	Espanja	Iso-Britannia
As	300	300	100	50	62,5		500
Cd	30	50	20	15	13		1400
Co			250	250	175		
Cr		700	300	800	475		5000
Cu	800	500	200	600	600		
Hg	30	84	5	5	27		480
Pb	2500	1360	750	1000	600		750
Mo					115		
Ni	700	500	150	500	285		
Sb			50	30			
Sn				10	170		
Tl				350			
V			250	250			
Zn	3000	1300	400	1500	1650		
Bentseeni	1	0,6	1	2	76,5	10	
Etyylibentseeni	70	76	50	50	130	100	48000
Tolueeni	200	85	25	50	118	100	
Ksyleeni	190	20	50	50	77,5	100	
Naftaleeni	160		15	50	25	10	
Antraseeni	4690		15	50	25	100	
Bentso(a)antraseeni	30	10	15	10	25	20	
Bentso(g,h,i)peryleeni	4690	100		10	52,5		
PAH-yhteensä			30	100	110		
Dikloorimetaani	3,5		5	5		60	
Trikloorietyyleeni	10		5	10		70	
Tetrakloorimetaani	1		2	10		70	
Heksaklooribentseeni	55		2	5		1	
Fenoli				60	51,5	100	78
Atratsiini			2	1	3		
PCB			5	5	2,75	0,8	
MTBE	140		50	250			
Bentso(a)pyreeni	3	8,8	15	10	22,5	2	

Pienin viitearvo

Toiseksi pienin viitearvo

4 Kunnostusmenetelmät

Suomessa kunnostetaan vuosittain noin 300 pilaantuneiden maiden kohdetta. Viimeisen 20 vuoden aikana on kunnostettu yhteensä lähes 4000 kohdetta. Huippu kohdattiin vuonna 2002, jolloin kohteita oli 449. Massanvaihto on yleisimmin käytetty kunnostusmenetelmä ja seuraavina tulevat kompostointi sekä stabilointi. Käytetyin in situ -menetelmä, eristys, oli vasta sijalla neljä. Vuoden 2006 tilastojen mukaan 85% kunnostuksista suoritettiin yksin massanvaihdolla ja 6% massanvaihdolla yhdessä eristämisen kanssa. (Jaakkonen, 2008) Nämä tilastot koskevat kuitenkin aikaa ennen valtioneuvoston asetuksen VnA 214/2007 voimaantuloa.

Helsingin kaupunki on tilastoinut alueellaan tehtyjä kunnostuksia. Taulukossa 2 on esitetty kunnostuskohteiden lukumäärät ja niistä kunnostusalueen ulkopuolelle käsiteltäväksi toimitettujen massojen määrät. Taulukosta on nähtävissä, että vaikka kunnostusten lukumäärä on viime vuosina kasvanut, vuonna 2008, jolloin valtioneuvoston asetus on ehtinyt olla jo vuoden voimassa, poistettujen massojen määrä on huomattavasti pienentynyt.

Taulukko 2 Helsingissä tehtyt pilaantuneiden alueiden kunnostukset (Helsingin kaupunki, ympäristökeskus, 2009)

	2004	2005	2006	2007	2008
Kohteiden lukumäärä	35	31	48	53	59
Kohteista poistetut pilaantuneet massat [t]	199 101	606 251	304 508	311 006	195 011

Kunnostusmenetelmien valinta riippuu eniten kohteen tulevasta maankäytöstä sekä siellä esiintyvistä haitta-aineista. Ympäristövaikutukset tulisi valinnassa ottaa huomioon mahdollisimman kokonaisvaltaisesti. Vaikutukset koostuvat käsittelyprosessista, kuljetuksista, lisä- ja apuaineiden valmistuksesta ja kuljetuksesta sekä luonnonmateriaalien kulutuksesta. (Sorvari & Antikainen, 2004)

Valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa korostetaan parhaan käyttökelpoisen tekniikan periaatteen merkitystä pilaantuneiden maiden käsittelyssä. Pilaantuneiden maiden kunnostuskustannuksista suurin osa muodostuu maiden kaivusta, käsittelystä, loppusijoituksesta ja kuljetuksista. Tutkimusten ja suunnittelun osuus kokonaiskustannuksista on enimmilläänkin vain noin viidennes. Suurimmat kustannussäästöt voidaan siis saavuttaa kunnostustoimien tarkoituksenmukaisella mitoittamisella. (Ympäristöministeriö, 2008)

4.1 Massanvaihto

4.1.1 Kaivu

Massanvaihdolla tarkoitetaan pilaantuneen maa-aineksen poistamista kohteesta ja tarvittaessa korvaamista puhtailla massoilla. Kaivetut massat loppusijoitetaan, hyötykäytetään tai käsitellään. Mahdollisesti massoja myös esikäsitellään (esim. seulotaan) kohteessa tai välivarastoidaan. Kiireellisissä kunnostuksissa joudutaan usein turvautumaan pilaantuneiden maa-ainesten poistamiseen kohteesta ja loppusijoittamiseen luvanvaraisiin käsittelylaitoksiin. Samoin toimitaan, kun massoja täytyy poistaa rakentamisen

vuoksi. Monesti myös muut kunnostusmenetelmät vaativat maankaivua tai sitä voidaan muuten käyttää yhdessä muiden kunnostusmenetelmien kanssa. Esimerkiksi usein tietyn pitoisuuden ylittävät massat poistetaan ja loput eristetään paikalleen. Massanvaihtoa voidaan käyttää myös siirtämällä pilaantuneita massoja kohteen sisällä vähemmän herkille alueille.

Massanvaihto soveltuu lähes kaikenlaisiin kohteisiin ja kaikille haitta-aineille. Vaikeuksia kaivun hallinnassa saattavat kuitenkin aiheuttaa pohjaveden käyttäytyminen ja sellaiset maakerrokset, joiden rikkoutuminen voi edistää haitta-aineiden kulkeutumista. Jos kaivu ulottuu pohjaveden pinnan alapuolelle, tulee estää haitta-aineiden leviäminen esimerkiksi alentamalla pohjaveden pintaa pumppaamalla. (Mroueh ym. 2004)

Huomiota tulee kiinnittää myös haitallisten aineiden leviämiseen ympäristöön kaivutöiden, välivarastoinnin ja kuljetusten aikana. Erityisen herkkiä leviämään ovat haihtuvat yhdisteet, jotka kulkeutuvat ilmaan nopeasti. Leviämistä voidaan estää esimerkiksi suorittamalla kaivaminen teltassa. Kuivalla säällä ongelman muodostaa myös pölyäminen, jota voidaan ehkäistä kasoja ja työmaateitä kastelemalla. Leviäminen voi tapahtua myös työmaan ajoneuvojen ja työntekijöiden mukana, jos renkaita ja työvarusteita ei puhdisteta asianmukaisesti. (Sarkkila ym. 2004)

Paitsi haitta-aineiden leviämisestä, ympäristökuormitusta syntyy myös massojen kuljetuksesta käsittely- tai loppusijoituspaikoille. Kaivu saattaa aiheuttaa myös huomattavia melu- ja hajuhaittoja, jotka rajoittavat työskentelyä asutuilla alueilla. Alueilla, joissa pilaantuneisuus on läikittäistä tai ohuina kerroksina, voidaan joutua poistamaan myös puhtaita maakerroksia, koska kaivuteknisesti ei välttämättä ole mahdollista lajitella massoja tarpeeksi tarkasti.

Massanvaihdon kustannuksista merkittävän osan muodostaa massojen loppusijoituksesta tai käsittelystä. Kustannukset laskevat huomattavasti, jos massat voidaan hyötykäyttää. Käsittelymenetelmien käyttö saattaa vaatia massojen esikäsittelyä kohteessa ja osa menetelmistä voi mahdollistaa massojen palauttamisen kunnostettavaan kohteeseen käsittelyn jälkeen. Käsittelytavat vaikuttavat myös kunnostuksen kustannuksiin ja ympäristövaikutuksiin.

Pilaantuneet maa-ainekset ovat kaivun jälkeen jätettä, joten niitä tulee käsitellä jätelain määräysten mukaisesti. Niiden laitos- ja ammattimainen käsittely vaativat aina ympäristöluvan. (Jaakkonen, 2008)

Massanvaihto on yleisimmin käytetty kunnostusmenetelmä. Useilla maansiirtoyrityksillä on kalusto ja osaaminen massanvaihdon toteuttamiseen. Lisäksi useissa kunnostuskohteissa massanvaihtoa joudutaan suorittamaan joka tapauksessa rakennusteknisistä syistä.

4.1.2 Sijoittaminen kaatopaikalle

Valtioneuvoston on antanut päätöksen kaatopaikoista (861/1997) ja muuttanut sitä asetuksella (202/2006). Näissä asetuksissa on säädetty mm. kelpoisuuskaatopaikalla sijaitsevan jätteen kaatopaikoille sijoitettaville jätteille. Epäorgaanisille haitta-aineille on asetuksissa annettu lukuarvot enimmäisliukoisuudelle ja orgaanisille yhdisteille enimmäispitoi-

suuksille. Liukoisuuskriteerit on annettu erikseen tavanomaisen jätteen, pysyvän jätteen ja ongelmajätteen kaatopaikoille. Liukoisuuskriteerit on esitetty liitteen 1 taulukossa.

Alemmat ohjearvopitoisuudet alittavien maa-ainesjätteiden kaatopaikkakelpoisuus osoitetaan pilaantuneisuustutkimuksissa saatujen haitta-ainepitoisuuksien perusteella ja ne voidaan sijoittaa maankaatopaikoille, jotka eivät sijaitse herkkien alueiden läheisyydessä. (Ympäristöministeriö, 2007)

Suurin osa pilaantuneista maista päätyy kaatopaikoille joko suoraan tai käsittelyn kautta ja ne hyötykäytetään. Sellaiset massat, joiden käsittely olisi hyvin kallista tai vaikeaa, loppusijoitetaan tai eristetään. (Jaakkonen, 2008)

Sijoituspaikan rakenteiden tulee olla sellaiset, että haitta-aineiden leviäminen ympäristöön estyy. Myös suotovesien tarkkailu ja tarvittaessa käsittely ja talteenotto on järjestettävä. (Penttinen, 2001)

4.1.3 Hyötykäyttö

Jätelain 6§:n mukaan maa-ainesjäte on pyrittävä ensisijaisesti hyödyntämään, jos se on teknisesti mahdollista ja siitä ei aiheudu kohtuuttomia lisäkustannuksia. Suuri osa kaivetuista pilaantuneista maista otetaan vastaan kaatopaikoille ja käytetään sellaisenaan peitemainana ja rakenteissa (Jaakkonen 2008). Valtioneuvoston asetukset kaatopaikoista ja niille sijoitettavien massojen liukoisuuskriteereistä pätevät myös ko. kohteissa hyötykäytettäville massoille. Maamassojen soveltuvuutta hyötykäyttöön voidaan tarvittaessa lisätä erilaisilla menetelmillä, kuten stabiloinnilla tai maan pesulla.

Kaivettuja massoja voidaan hyötykäyttää myös kaatopaikkojen ulkopuolella, kuten meluvalleissa tai tie- ja kenttärakenteissa. Kynnysarvopitoisuudet alittavien massojen sijoitukselle ei ole annettu rajoitteita. Sen sijaan kynnys- ja ohjearvopitoisuuksien väliset massojen hyötykäyttö kaivukohteessaan voidaan selvittää VnA 214/2007 mukaisen arvioinnin yhteydessä. Näiden massojen hyötykäyttö muualla on ympäristöluvanvaraista paitsi, jos sijoituskohde ei sijaitse tärkeällä pohjavesialueella, pitoisuudet eivät ylitä alueen taustapitoisuuksia eikä massojen sijoitus lisää merkittävästi ympäristöön kohdistuvaa kuormitusta ja riskejä. Rakenteisiin käytettäessä tulee ympäristökelpoisuuden lisäksi selvittää myös massojen tekninen toimivuus. Taloudellisinta olisi saada massat käyttöön kunnostuskohteen läheisyydessä. (Ympäristöministeriö, 2007)

Pilaantuneiden ja puhdistettujen maiden hyötykäytöstä kaatopaikkojen ulkopuolella ei kuitenkaan tällä hetkellä ole yhtenäistä linjaa. Valtakunnallinen jätesuunnitelma korostaa pilaantuneiden alueiden kunnostamista ekotehokkaasti. Lievästi pilaantuneet ja käsiteltyt maa-ainekset tulisi hyödyntää joko sellaisenaan tai esikäsiteltyinä kohteissa, joissa ne eivät aiheuta ympäristön pilaantumisen vaaraa. (Ympäristöministeriö, 2008)

4.1.4 Stabilointi ja kiinteytys

Stabiloinnissa ja kiinteytyksessä muutetaan haitta-aineiden tai maaperän ominaisuuksia lisääaineilla siten, että haitta-aineiden leviäminen estetään. Stabiloinnissa aineet sidotaan kemiallisesti eli niiden kulkeutumista, biosaatavuutta, toksisuutta tai liukoisuutta vähennetään. Kiinteytyksessä haitta-aineiden kulkeutuminen estetään fysikaalisesti lisää-

mällä niiden puristuslujuutta tai vesitiiviyttä tai sulkemalla ne stabiiliin massaan. (Sakila ym. 2004)

Sideaineiden valinta riippuu käsiteltävistä haitta-aineista. Epäorgaaniset sideaineet, kuten sementti ja muut silikaattipohjaiset sideaineet, soveltuvat lähinnä metalleille ja orgaanisilla sideaineilla, kuten bitumipohjaiset sideaineet, voidaan sitoa myös orgaanisia haitta-aineita, kuten raskaita öljyjakeita. Sideaineen koostumukseen vaikuttavat sekä haitta-aineiden laatu ja pitoisuudet että maaperän koostumus. Stabilointi ja kiinteytys eivät sovi haihtuville yhdisteille eivätkä massoille, jotka sisältävät runsaasti dioksiineja, PCB:tä, torjunta-aineita, elohopeaa tai muita erittäin haitallisia yhdisteitä. Sideaineet valmistetaan aina tapauskohtaisesti ennakkotutkimusten ja kokeiden perusteella. Ennakkoarvioon tuleekin varata aikaa n. 4-5 kuukautta. Menetelmän soveltuvuutta voidaan parantaa esikäsittelyllä esim. poistamalla maasta haihtuvia yhdisteitä tai murskaamalla ja seulomalla maata, joka sisältää runsaasti savea, humusta tai kiviä. (Penttinen, 2001)

Stabiloitujen massojen sijoitus tulisi tehdä mahdollisimman pysyvästi ja siten, että ne ovat suojassa kuormitukselta. Koska stabiloinnin aiheuttamat riskit liittyvät usein massoihin pääsevän veden pilaantumiseen, massat tulee loppusijoittaa pintatiivisteen alle, roudattomaan syvyyteen, suoto- tai pohjavesipinnan yläpuolelle. Vesi ei saa päästä stabiloituihin massoihin myöskään kapillaari-ilmiön vaikutuksesta. Menetelmät kasvattavat usein massojen tilavuutta, mutta riskitekijät vähenevät. (Mroueh ym. 2004)

4.1.5 Terminen käsittely

Termisellä käsittelyllä voidaan tarkoittaa termodesorptiota, jossa haitta-aineet irrotetaan maa-aineksesta muuttamalla ne kaasumaiseen muotoon riittävän korkeassa lämpötilassa. Termodesorptiossa käytetään n. 450-800 °C lämpötilaa, jolloin osa orgaanisista haitta-aineista palaa ja vaikeastikin haihtuvat orgaaniset aineet höyrystyvät. Toisessa vaiheessa haitta-aineet johdetaan jälkipolttoon (yli 1000 °C), missä ne palavat haitattomaan muotoon.

Vaikeammin pilaantuneille massoille ja erityisesti massoille, jotka ovat pilaantuneet dioksiineilla ja furaaneilla ja PCB-yhdisteillä, joista voi liian alhaisissa polttolämpötiloissa muodostua vaarallisempia yhdisteitä, soveltuu tehopolttu yli 1300 °C:n lämpötilassa. Tällöin kaikki orgaaninen aines palaa ja maa-aines osittain sulaa. Tehopolttu soveltuu myös massoille, jotka sisältävät orgaanisten lisäksi epäorgaanisia haitta-aineita.

Tehopolttoprosessissa epäorgaaniset haitta-aineet sitoutuvat siinä muodostuvaan liukenemattomaan kuonaan, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi kaatopaikkojen rakentamisessa.

Menetelmä soveltuu periaatteessa kaikilla orgaanisilla haitta-aineilla, kuten öljy-, PAH-, PCDD/F-yhdisteillä, kloorifenoleilla ja pestisideillä, pilaantuneiden maiden käsittelyyn. Massoille, joissa on myös voimakkaita metallipitoisuuksia, suositellaan käytettävän tehopolttua. Menetelmä soveltuu periaatteessa kaikentyyppisille maa-aineksille. Savimaa voi kuitenkin tukkia käsittelylaitteistoa ja heikentää käsittelytehoa. (Ekokem-Palvelu Oy, 2008)

Termistä käsittelyä on käytetty pitkään orgaanisilla haitta-aineilla pilaantuneiden massojen käsittelyyn myös Suomessa. Osalle haitta-aineista se on ainoa menetelmä, jolla ne saadaan hävitettyä pysyvästi.

4.1.6 Maan pesu

Maan pesussa käytetään mekaanisia tai kemiallisia menetelmiä poistamaan haitta-aineita maa-aineksesta. Maan pesusta puhuttaessa tarkoitetaan menetelmää, jossa puhdistettavat massat kaivetaan ja pesu suoritetaan erillisessä pesulaitoksessa tai siirrettävällä laitteistolla. Pesua voidaan tehostaa käyttämällä esim. pinta-aktiivisia apuaineita tai liuottimia. Haitta-aineita voidaan myös aktivoida muuttamalla pesunesteen pH:ta tai nostamalla lämpötilaa. (Mroueh ym. 2004)

Pesu soveltuu useille haitta-aineille, kuten raskasmetalleille, syanideille, PAH-yhdisteille, pestisideille, PCB-yhdisteille, kloorifenoleille sekä mineraaliöljyille. Jos käsiteltävä maa sisältää haihtuvia yhdisteitä, ne tulee yleensä kerätä jo esikäsittelyvaiheessa. Useammilla haitta-aineilla pilaantuneiden maiden käsittely saattaa kuitenkin vaatia useiden lisäaineiden käyttöä ja huolellista menetelmätapojen suunnittelua. Pitää myös selvittää eri komponenttien keskinäiset vuorovaikutukset. Mahdollisesti monimutkaisissa tapauksissa pesu joudutaan suorittamaan vaiheittain. Jos pestävä aines sisältää hydrofobisia yhdisteitä, joudutaan käyttämään pinta-aktiivisia lisäaineita jolloin myös käytettävän veden määrä lisääntyy. Menetelmä ei sovellu massoille, joiden hienoainespitoisuus on liian suuri. Tällöin esikäsittelyä joudutaan lisäämään eikä puhdistettujen massojen tilavuus ole välttämättä merkittävästi pienempi, kuin lähtötilanteessa. Liian suuri humuspitoisuus voi aiheuttaa metallien ja orgaanisten yhdisteiden voimakkaaseen sitoutumiseen maa-ainekseen, jolloin puhdistustulos on heikompi. (Mroueh ym. 2004)

Menetelmää käytettäessä tulee huolehtia, ettei vahingossa aiheuteta vaikeammin käsiteltäviä aineksia. Riskinä ovat lähinnä haitta-aineiden vesiliukoisuuden, kulkeutuvuuden ja biosaatavuuden lisääntyminen käsittelyn yhteydessä. Mahdollisesti tarvittavat lisäaineet tulee olla erotettavissa poistovesistä ja mahdollisuuksien mukaan myös johdettavissa uudelleen käyttöön. Menetelmän hyöty aiheutuu loppusijoitettavan pilaantuneen aineksen tilavuuden pienenemisestä, mutta loppulietteen pitoisuudet ovat usein korkeita ja niiden sijoitus saattaa olla ongelmallista. Eri jätefraktiot kerätään erikseen tiiviille alustoille ja niiden haitta-ainepitoisuudet ja kaatopaikkakelpoisuus tutkitaan, ennen kuin niiden sijoitustapa valitaan. Suomessa on rajoituksia myös pesemällä käsitellyille maille. Puhtaaksi todettujakaan maita ei saa sijoittaa esimerkiksi tärkeälle pohjavesialueelle, hyvin läpäisevälle maalle tai paikkoihin, joissa se pääsee kosketuksiin pohja- tai pinta-veden kanssa. Sijoitettavan maan pH ja ravinnepitoisuus on myös saatettava sen ympäristön mukaiseksi. (Sarkkila ym. 2004)

4.1.7 Kompostointi ja peltohajotus

Kompostoinnissa orgaanisia aineita hajotetaan mikrobitoiminnan avulla. Mikrobitoimintaa tehostetaan sekoittamalla maa-ainekseen huokoisuutta parantavaa tukiainetta (esim. kuoriketta tai turvetta) ja ravinteita sekä pitämällä kosteus, happipitoisuus, pH ja lämpötila mikrobeille suotuisalla tasolla. Suomessa yleisimmin käytetty menetelmä on aumakompostointi, joka toteutetaan käsittelykeskuksissa tai pysyvissä käsittelylaitoksissa. Aumat voivat olla sekoitettuja, jolloin aumat käännetään säännöllisin väliajoin, tai

ilmastettuja, jolloin niihin asennetaan ilmastointi- tai huokosimuputkia, joilla ilman lisäksi voidaan aumaan johtaa myös lämpöä. (Mroueh ym. 2004)

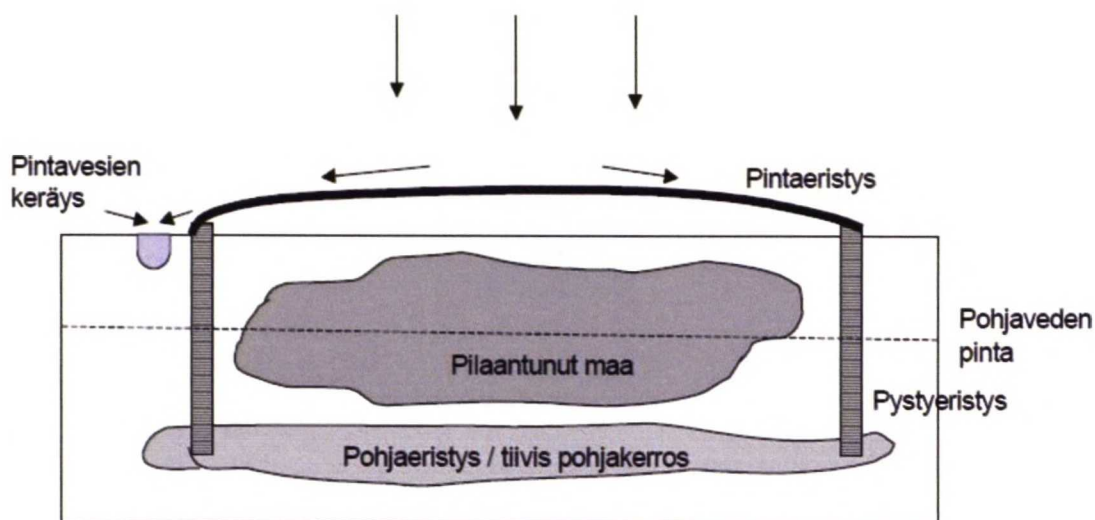
Rumpukompostoinnissa käsiteltävä massa suljetaan laitteistoon, jossa sitä sekoitetaan pyörittämällä. Rumpukompostointi menetelmänä kalliimpi kuin aumakompostointi, mutta hajotusolosuhteita voidaan hallita helpommin ja haitta-aineiden hajoaminen tapahtuu nopeammin. (Mroueh, 2004)

Peltohajotuksessa käsiteltävät massat levitetään ohueksi kerrokseksi käyttöön tarkoitettulle alustalle. Peltohajotuksessa mikrobit ovat peräisin käsiteltävästä aineksesta ja käsittelyalueen maaperästä. Mikrobeja aktivoidaan maan muokkauksella, pH:n säätelöllä sekä lannoituksella. (Penttinen, 2001)

Kompostointi soveltuu ainoastaan biohajoavilla yhdisteillä pilaantuneiden massojen puhdistamiseen. Näihin lukeutuvat öljyhiilivedyt, PAH-yhdisteet sekä torjunta-aineet. Myös räjähdysaineilla pilaantuneita massoja on puhdistettu kompostoimalla. Raskaimmat pitkäketjuiset hiilivety-yhdisteet ja korkeasti klooratut yhdisteet hajoavat huonosti. Haihtuvien haitta-aineiden käsittely edellyttää kaasujen keräämistä ja käsittelyä. Aumakompostointi soveltuu käytännössä vain helpoiten hajoaville yhdisteille, muille on käytettävä rumpukompostointia. Raskasmetallit voivat korkeina pitoisuuksina olla haitallisia mikrobeille ja ne voivat myös vaikeuttaa massojen jatkokäyttöä. Käsiteltävän maan aineksen korkea savipitoisuus voi vaikeuttaa hapen saamista tasaisesti kaikkialle käsiteltävään ainekseen. Savi myös sitoo orgaanisia aineita, heikentää niiden saatavuutta mikrobeille. Peltohajotusta on käytetty lähes ainoastaan polttonesteillä ja kreosooteilla pilaantuneille massoille. (Penttinen, 2001)

Kompostointi vaatii suhteellisen paljon tilaa. Erityistä huomiota tulee kiinnittää alueen pohjavesien suojeluun ja estettävä alueelta mahdollisesti tulevien valumavesien pääsy pintavesiin. Kompostoinnin aikana syntyvät kaasut kerätään ja käsitellään. Peltohajotuksessa hitaimmin hajoavista yhdisteistä saattaa kertyä käsittelykerrokseen bitumiainesta ja mikrobitoiminnan tuottamaa ns. biologista pikeä, joka voi pitkällä aikavälillä rajoittaa alueen käyttöä. (Penttinen, 2001)

4.2 Eristäminen



Kuva 1 Eisterakenteen periaate (Jeltsch, 1990)

Eistämisellä tarkoitetaan haitta-aineen jättämistä paikoilleen, mutta sen leviämisen estämistä ympäristöön. Pintaeristyksellä estetään sadevesien pääsy eristettävään maainekseen, pystyeristyksellä pohjaveden virtaus kohteen läpi ja pohjaeristystä tarvitaan, jos pilaantuneen maaperän alla ei ole tiivistä ja eristävää maakerrosta tai kalliota.

Eisterakenteen tulisi periaatteessa kestää ikuisesti, muuten ongelma vain siirretään tulevaisuuteen ja ympäristöriskit sekä kustannukset saattavat pahimmassa tapauksessa pahentua. Käytännössä rakenteissa käytetyt materiaalit eivät siis saa huonontua pitkään ajan kuluessa tai niitä täytyy tarkkailla ja huoltaa jatkuvasti. Lisäksi niiden tulee kestää eristettävien haitta-aineiden sekä ympäristön kuormitukset. Eristettävät haitta-aineet tulisi stabiloida ja tiivistää siten, että niiden aiheuttamat kemialliset ja fysikaaliset kuormitukset olisivat mahdollisimman pieniä, elleivät ne ole luonnostaan hyvin soveltuvia eristettäväksi. Rakenteen tulisi myös säilyttää toiminnallisuutensa ilman merkittäviä ylläpitotoimenpiteitä. Ympäristöpäästöjen (esim. suotovedet ja huokoskaasut) tarkkailu on kuitenkin järjestettävä. (Sarkkila ym. 2004)

Parhaiten menetelmä soveltuu haitta-aineille, joiden liikkuvuus on alhainen. Eistäminen ei sovellu pienimolekyylisille orgaanisille haitta-aineille, koska ne voivat läpäistä eristerakenteet. Muutenkaan orgaanisia haitta-aineita ei suositella eristettäväksi vaan ne tulisi käsitellä pysyvästi vaarattomiksi. Eistäminen onnistuu kaikille maalajeille, mutta hyvin happamat tai emäiset ympäristöt voivat heikentää eristeen kestävyyttä. Lisäksi eristysrakenteita rajoittavat alueen geologiset ja hydrogeologiset ominaisuudet. (Sarkkila ym. 2004)

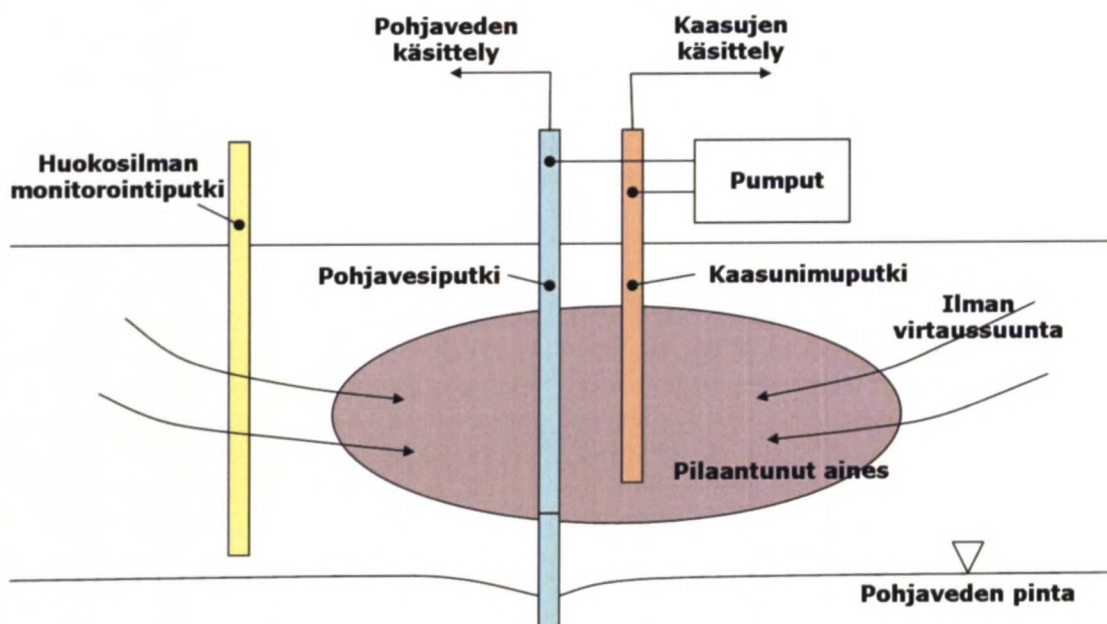
Eistäminen toteutetaan pääsääntöisesti yhdistelmärakenteena, jolloin käytetään keino- tekoista eristettä ja mineraalista tiivistettä. Mineraalinen tiiviste ehkäisee vapaan nestevirtauksen syntymisen eristeeseen syntyvistä rei'istä. Rakenteiden tiiviyys tulee varmistaa

siten, että vaakasuuntaista virtausta ei pääse syntymään. Eristeenä on käytetty polyolefinimuovista tai kumista valmistettuja geomembraaneja ja asfalttia. Mineraaliset tiivistekerrokset on rakennettu savesta, maabentonitista, sementistä tai teollisuuden sivutuoteseoksista, kuten kivihiilen lentotuhkasta tai metsäteollisuuden kuitulietteestä ja siistausjätteestä. (Sarkkila ym. 2004)

4.2.1 Peittäminen

Peittäminen on usein käytetty, yksinkertaistettu eristämisen muoto, jossa pilaantunut pintakerros korvataan puhtaalla maalla. Puhtaan ja pilaantuneen kerroksen väliin asetaan huomioverkko sekä mahdollisesti suodatinkangas. Tietyissä tapauksissa pilaantunut maa voidaan peittää myös asfaltilla. Peittäessä suora kontakti pilaantuneeseen maahan ja sen pölyäminen estyy. Monesti rakennettavat alueet, kuten tiet, puistot tai urheilukentät vaativat rakennekerroksia, jolloin pilaantuneet alueet tulevat peitetyiksi muun rakentamisen ohella.

4.3 Huokoskaasukäsittely



Kuva 2 Huokoskaasukäsittelyn periaate

Huokoskaasukäsittelyllä poistetaan haitallisia aineita kaasufaasista alipaineimukaivojen kautta. Haitta-aineet poistuvat advektiolla, höyrystymällä, desorptiolla ja diffuusiolla. Pumpattu ilma johdetaan vedenerottimeen ja siitä käsiteltäväksi esim. aktiivihiilisuodattimiin. (Sarkkila ym. 2004)

Huokosilmakäsittely soveltuu sekä klooratuille että klooraamattomille haihtuville orgaanisille yhdisteille sekä joillekin puolihihtuville yhdisteille, joiden Henryn lain vakio

(H) on suurempi kuin 0,01 tai höyrynpaine (V_p) suurempi kuin 0,5 mm Hg. Menetelmän käyttöä voi rajoittaa maaperän epähomogeenisuus, hienoainespitoisuus, orgaanisen aineksen määrä maaperän kosteuspitoisuus sekä pohjaveden pinnan korkeus. Käsittely soveltuu ainoastaan pohjaveden pinnan yläpuolisille kerroksille. Kohteissa, joissa pilaantuneet massat ovat kyllästyneessä kerroksessa, pohjaveden pintaa joudutaan laskemaan pumpaamalla. Menetelmä ei sovellu kohteeseen, jossa maaperä on liian tiivistä kaasujen liikkumiseen. Erityisen käyttökelpoinen menetelmä on silloin, kun massoja ei voida kaivaa rakennusten tai rakenteiden vuoksi. Pumpausta voidaan käyttää myös suojamenetelmänä, estämään kaasujen pääsy sisätiloihin rakennusten läheisyydessä kunnostettaessa. (Sarkkila ym. 2004)

Menetelmän soveltuvuutta voidaan laajentaa monin tavoin. Puolihihtuvien yhdisteiden liikkuvuus tehostuu lämpökäsittelyllä, jolloin haitta-aineiden desorptio ja höyrystymisen tehostuvat. Sekä maaperän kyllästymättömyyden että kyllästyneeseen kerrokseen voidaan injektoida lisäilmaa tehostamaan alipaineimua ja poistamaan adsorboituneita haitta-aineita. Paineilmainjektiolla muodostetaan maaperään lisää reittejä helpottamaan haitta-aineiden poistumista. Bioilmastuksella tehostetaan biohajoamista siten, että maaperään pumpataan sopiva määrä ilmaa mikrobitoiminnan tehostamiseksi. Injektointikaivojen kautta voidaan syöttää maaperään myös ravinteita tehostamaan biologista hajoamista. Lisäksi menetelmää voidaan tehostaa peittämällä käsiteltävä alue esim. tiiviillä geomembraanikerroksella. (Penttinen, 2001)

Huokosilmakäsittelyssä tulee kiinnittää huomiota poistuvien kaasujen käsittelyyn ja niiden hallitsemattoman leviämisen estämiseen myös kaivojen asennusvaiheessa. Jos menetelmän tehostamiseen käytetään kemikaaleja, tulee niiden osalta tehdä riskinarviointi. Menetelmä myös toimii huonosti alhaisilla pitoisuuksilla, eikä sillä päästä täysin puhtaaseen lopputulokseen. Tyypillisesti käsittely kestää n. puolesta vuodesta vuoteen, mutta kunnostuksen aikana alueen toiminnot voivat jatkua tavalliseen tapaan ja kaivojen asennuskin aiheuttaa hyvin suunniteltuna vain vähäistä häiriötä. Menetelmä soveltuukin hyvin kohteisiin, joissa ei voida kaivaa rakennusten tai rakenteiden takia, tai pilaantuneisuus on niin syvällä, että siihen ei pääse käsiksi kaivamalla.

Huokoskaasumenetelmää on Suomessakin käytetty monissa kohteissa, erityisesti entisten huoltoasemien tonteilla ja kohteissa, joissa kaivaminen ei ole rakenteiden vuoksi onnistunut.

4.4 Fytoremediaatio

Fytoremediaatio on menetelmä, jossa käytetään kasveja poistamaan ja käsittelemään maaperän ja osittain myös veden haitta-aineita. Fytoremediaatio koostuu useista menetelmistä, jotka ovat osittain päällekkäisiä.

Tehostetussa ritosfäärihajoamisessa kasvien juurien erittämät luontaiset yhdisteet ravitsevat mikro-organismeja ja tehostavat niiden aktiivisuutta.

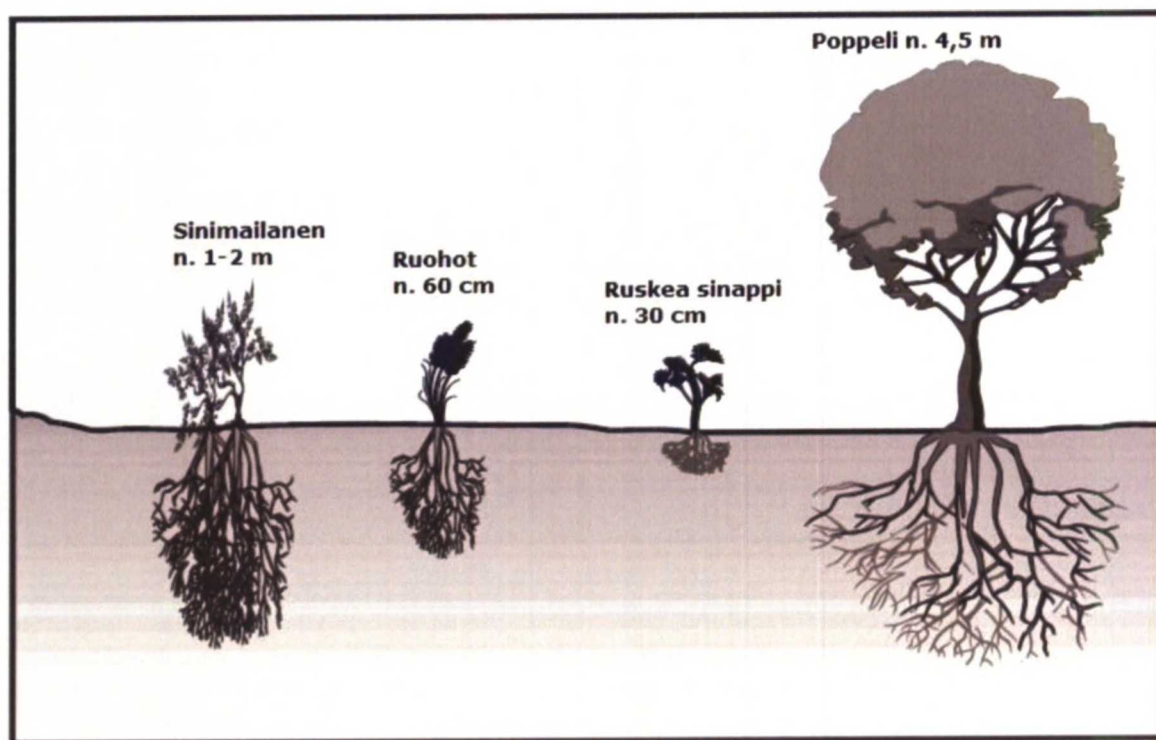
Fytoakkumulaatiossa kasvit keräävät haitta-aineet juurillaan varsiinsa ja lehtiinsä. Monet raskasmetallit ovat kasveille välttämättömiä. Niin sanotut hyperakkumuloijakasvit voivat varastoida merkittäviäkin määriä metallisia haitta-aineita. Kun kasvit kyllästyvät metalleilla, ne eivät enää poista haitta-aineita maaperästä ja tällöin ne kerätään pois ja

jatkokäsittellään asianmukaisesti. Poistettujen kasvien tilalle voidaan tarpeen mukaan istuttaa uusia.

Fytodegradaatiossa kasvit käsittelevät haitta-aineet haitattommiksi kudoksissaan. Kasvit erittävät hajoamista kiihdyttäviä entsyymejä, kuten dehalogenaaseja ja oksygenaaseja.

Fytostabiloinnissa kasvit aiheuttavat maaperässä muutoksia, mm. vaikuttavat maaperän pH:hon ja lisäävät orgaanisen aineksen määrää. Juuristo sitoo maata ja vähentää eroosiota sekä veden imeytymistä maahan. (Penttinen, 2001)

Fytoremediaation arvellaan soveltuvan metalleille, pestisideille, liuottimille, räjähteille, raakaöljylle, PAH-yhdisteille, BTEX-yhdisteille ja liiallisille ravinteille. Fytoremediaatiota on käytetty myös kaatopaikkojen suotovesien puhdistamiseen. Menetelmän soveltuvuus maaperäolosuhteisiin riippuu käytettävien kasvien vaatimuksista. Fytoremediaatiota on Yhdysvalloissa käytetty hiilivetyjen ja tolueenin poistamiseen maaperästä poppelipuilla. Ne soveltuvat hyvin tarkoitukseen, sillä ne ovat laajalle levinneitä, niillä on kyky kerätä metalleja ja ne ovat nopeakasvuisia. Suomessa on suoritettu kokeita haavoilla ja pajuilla. Täällä menetelmän käyttöä rajoittaa kuitenkin erityisesti lyhyt kasvu-kausi. (Penttinen, 2001)



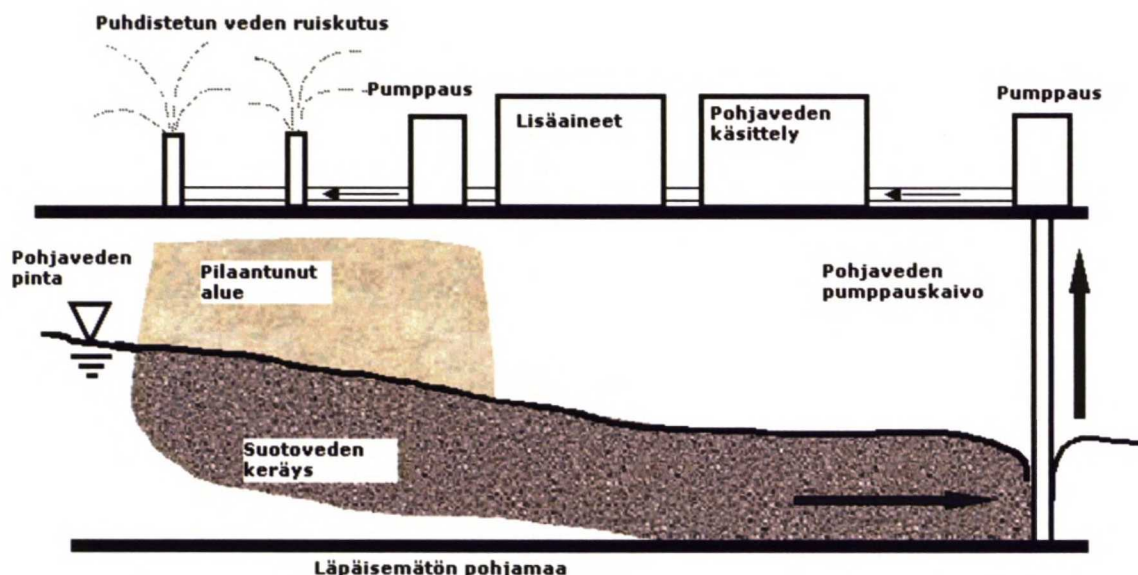
Kuva 3 Esimerkkejä kasvien juuristojen ulottuvuudesta (US EPA, 2000)

Kasvista riippuen menetelmä toimii jopa 4,5 metrin syvyydellä maan pinnasta. Esimerkkikasveista ruskean sinapin juuristo ulottuu n. 30 cm syvyyteen, erilaisten ruohojen n. 60 cm syvyyteen, sinimailasen noin 1-2 m syvyyteen ja poppelipuiden n. 4,5 m syvyyteen. (US EPA, 2000).

Kasvien metallien sietoa ja keräämistä ei tunneta vielä riittävän hyvin. Useat tutkimukset on tehty laboratorio-olosuhteissa ja luonnonoloissa on toteutettu muutamia pilottihankkeita. Kasvien juuriston pituus rajoittaa menetelmän ulottuvuutta ja liian suuret haitta-ainepitoisuudet voivat vahingoittaa kasveja. Menetelmä voisi olla käyttökelpoisimmillaan laajoilla alueilla, joilla pilaantuneisuus on lievää, eikä kovin syvällä. Lisäksi käsittelyaika on pitkä, usein jopa kymmeniä vuosia. Menetelmän kustannukset ovat kuitenkin pienet, mikäli kunnostus ei rajoita maankäyttöä alueella. Taloudellisuus lisääntyy, jos niitettyjen kasvien polttamisesta syntynyt energia voidaan ohjata hyötykäyttöön. Monet hyperakkumulaattorikasvit ovat massaltaan pieniä ja niillä pilaantuneen maaperän puhdistus on tehokasta. Kunnostettavilla alueilla tulee myös ehkäistä haitta-aineiden pääsy kasvien kautta ravintoketjuun. (Vallinkoski ym. 2007)

Fytoremediaatiota on Suomessa käytetty muutamissa koeluontoisissa kunnostuksissa.

4.5 Maan huuhtelu



Kuva 4 Periaatepiirros maan huuhtelusta (FRTR, 2002)

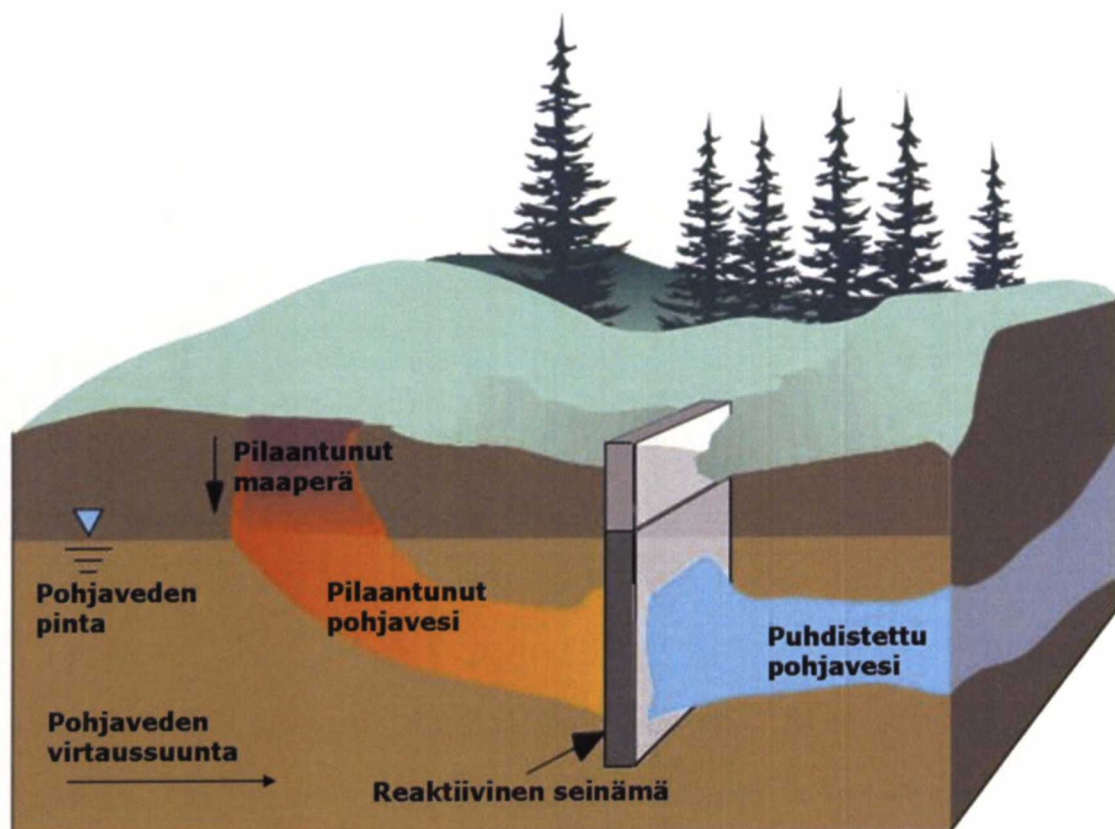
Maan huuhtelu on in situ –menetelmä, jossa maahan tai pohjaveteen johdetaan vettä irrottamaan haitta-aineita. Puhdistettavaan maahan johdettavaan veteen voidaan lisätä aineita, jotka helpottavat haitta-aineiden irtoamista esim. veteen helposti sekoittuvia orgaanisia liuottimia kuten alkoholia. Menetelmä voi myös tehostaa orgaanisten yhdisteiden biologista hajoamista. Huuhtelu sopii sekä kyllästymättömälle että kyllästyneelle kerrokselle. Haitta-aineita ja liuotinta sisältävä vesi pumpataan maan pinnalla olevaan käsittelylaitokseen. (Penttinen, 2001)

Menetelmä soveltuu parhaiten epäorgaanisille haitta-aineille, mukaan lukien radioaktiiviset aineet. Menetelmää voidaan käyttää myös orgaanisille aineille, mutta niille muut menetelmät ovat usein kustannustehokkaampia. Menetelmän käyttö vaikeutuu, jos maaperä on huonosti läpäisevää tai hyvin heterogeenista. (Penttinen, 2001)

Haikka-aineita ja liuotinta sisältävä vesi käsitellään esim. aktiivihiilisuodatuksella, jonka jälkeen se voidaan johtaa takaisin ympäristöön tai toimittaa kunnalliseen jätevesilaitokseen. Puhdistettu vesi voidaan käyttää uudestaan käsittelyprosessissa, mutta tästä syntyy lisäkustannuksia, jos lisäaineita joudutaan erottelemaan kierrätystä varten. Veden lisäksi tulee huolehtia myös lietteen, syntyneen kiinteän jätteen sekä haihtuvien kaasujen asianmukaisesta käsittelystä. Käytettäessä lisäaineita tulee kiinnittää erityistä huomiota siihen, että huuhteluneste ja siihen liuenneet haikka-aineet pystytään kontrolloimaan ja käsittelemään. Tällöin myös työturvallisuus saattaa heikentyä ja ympäristöluvan saaminen vaikeutua. (Penttinen, 2001)

Maan huuhtelua ei tietävästi ole käytetty Suomessa ja täällä maaperäolosuhteet saattavat merkittävästi rajoittaa sen käyttöä. (Penttinen, 2001) Yhdysvalloissakin on toteutettu vain muutamia koeluontoisia hankkeita. (FRTR, 2002)

4.6 Reaktiiviset seinämät



Kuva 5 Reaktiivisen seinämän toimintaperiaate (US EPA, 1998)

Reaktiivisilla seinämillä estetään pilaantuneisuuden leviäminen pohjaveden mukana. Seinämä tehdään maaperään pohjaveden virtaussuuntaa vastaan kohtisuorassa, jolloin vesi virtaa sen läpi passiivisesti. Pohjaveden virtaussuuntaa voidaan myös muuttaa asentamalla maahan suppilomaisia rakenteita. Seinämä voi hajottaa tai poistaa haikka-aineita kemiallisesti, fysikaalisesti tai biologisesti. Reaktiiviset aineet sekoitetaan usein huokoi-

sen aineen, kuten soran, kanssa, jolloin pohjavesi ajautuu helpommin sen kuin ympäröivän, tiiviimmän aineen läpi. (Penttinen, 2001)

Menetelmä soveltuu haihtuville ja puolihaihtuville yhdisteille sekä joillekin epäorgaanisille haitta-aineille (esim. kromi, seleeni ja uraani). Edellytyksenä käsittelyn toimivuudelle on, että haitta-aineet kulkeutuvat suhteellisen helposti pohjaveden mukana. Yleisimmin menetelmää on käytetty klooratuilla liuottimilla pilaantuneen pohjaveden puhdistamiseen raemuotoisen metalliraudan avulla. Seinämä tulee asentaa läpäisemättömään maakerrokseen asti, joten paksumpien maakerrosten käsittely on kustannuksiltaan kalliimpaa tai jopa mahdotonta. Menetelmä ei myöskään sovi alueille, joilla maaperän läpäisevyys ja pohjaveden virtaama ovat heikkoja. Menetelmän käyttö edellyttääkin kohteen hydrogeologisten olosuhteiden tarkkaa tuntemusta sekä huolellista suunnittelua. (Reinikainen, 2008)

Seinämään käytettävän materiaalin tulee pystyä poistamaan pohjaveteen liuenneet materiaalit siten, että asetetut puhdistustavoitteet saavutetaan ja säilyttämään reaktiivisuutensa mahdollisimman pitkään, sillä käsittelyajat ovat usein pitkiä. Mahdollisesti seinämä-rakenne voidaan jättää pysyvästi maaperään, jolloin ainoastaan seinämän asennusvaiheessa kaivetut, mahdollisesti pilaantuneet massat, joudutaan sijoittamaan. Käsittely ei myöskään häiritse alueen maankäyttöä, koska siihen ei kuulu maanpäällisiä rakennelmia. (Reinikainen, 2008)

Menetelmää on käytetty Suomessa koeluontoisesti muutamassa kohteessa.

4.7 Monitoroitu luontainen puhdistuminen

Maaperässä tapahtuu paljon luontaisia prosesseja, jotka voivat pienentää haitta-aineiden pitoisuuksia. Tällaisia ovat esimerkiksi biohajoaminen, adsorboituminen ja kemialliset reaktiot. Luontainen puhdistuminen toteutetaan jättämällä kunnostettava alue luonnontilaan ja seuraamalla näiden prosessien vaikutusta haitta-ainepitoisuuksiin sekä varmistamalla, että pilaantuneisuus ei leviä. (Tuomi ym. 2004)

Menetelmä soveltuu ainoastaan biohajoaville yhdisteille, kuten osalle öljyhiilivedyistä. Menetelmän hyväksymisen perusteena pidetään yleensä sitä, että haitta-aineet hajoavat kokonaan haitattomiksi aineiksi, kuten hiilidioksidiksi ja vedeksi. Haitta-ainepitoisuuksien tulee myös vähentyä nimenomaan biohajoamisen vaikutuksesta, eikä esimerkiksi laimenemisen kautta. Kunnostettavan kohteen geologisten ja geokemiallisten olosuhteiden tulee soveltua biohajoamiselle. Pintamaiden kunnostukseen menetelmä sopii harvoin, sillä pintakerroksessa haitta-aineiden kulkeutumiseen vaikuttavat monet tekijät. (Tuomi ym. 2004)

Monitoroitu luontainen puhdistuminen saattaa olla hyvin pitkäkestoinen prosessi, mutta se ei vaadi aktiivisia kunnostustoimenpiteitä. Kuitenkin huolelliset tutkimukset kunnostuskohteessa, suunnittelu ja pitkäaikainen seuranta nostavat kustannuksia. Puhdistumisen aikana tulee huolehtia, että haitta-aineet eivät pääse kulkeutumaan, eivätkä hajoa tai muunnu yhdisteiksi, jotka ovat alkuperäisiä haitallisempia. (Penttinen, 2001)

Monitoroitua luontaista puhdistamista on käytetty koeluontoisesti muutamissa kohteissa Suomessa. Valtakunnallinen jätesuunnitelma rohkaisee olemaan ryhtymättä kunnostus-

toimiin, jos alueen voidaan ennakoida puhdistuvan luontaisesti. (Ympäristöministeriö, 2008)

5 Kunnostaminen eri maankäyttömuotoihin

Tilanteesta riippuen terveys- ja ekologiset riskit asettavat kunnostustavoitteiden minimi-tason. Käytännössä maanomistajien toiveet, ihmisten mielikuvat tai rakennetekniset on-gelmat voivat kiristää tavoitteita. PIMA-asetus määrää, että maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin on aina perustuttava kohdekohtaiseen arviointiin. Ase-tuksessa luetellaan myös seikat, jotka arvioinnissa on otettava huomioon. Nämä ovat:

- o maaperässä todettujen aineiden pitoisuudet, kokonaismäärä, ominaisuudet, si-jainti ja taustapitoisuudet
- o alueen maaperä- ja pohjavesiolosuhteet sekä tekijät, jotka vaikuttavat haitallisten aineiden kulkeutumiseen ja leviämiseen alueella ja sen ulkopuolella
- o alueen ja sen ympäristön ja pohjaveden nykyinen sekä suunniteltu käyttötarkoi-tus
- o altistusmahdollisuus haitallisille aineille lyhyen ja pitkän ajan kuluessa
- o altistumisen seurauksena terveydelle ja ympäristölle aiheutuvat haitan vakavuus ja todennäköisyys sekä haitallisten aineiden yhteisvaikutukset
- o käytettävien tutkimustietojen ja muiden lähtötietojen sekä arviointimenetelmien epävarmuus

Pilaantumisen ja puhdistustarpeen arviointi on suoritettava, jos yhden tai useamman aineen pitoisuus maaperässä ylittää asetetut kynnsarvot tai jos taustapitoisuudet alueel-la ylittävät kynnsarvot, käytetään niitä arviointikynnyksenä. (Ympäristöministeriö, 2007)

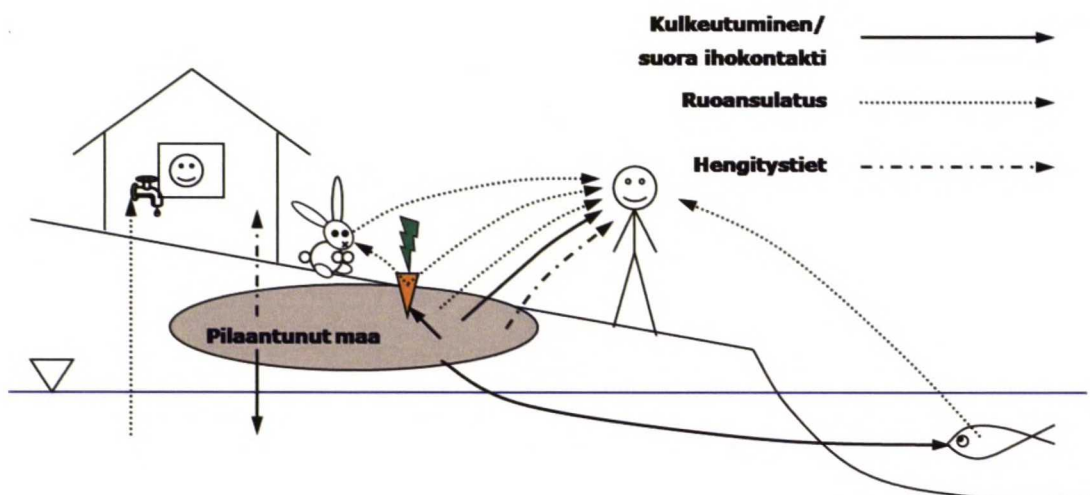
Maankäytön ohella merkittävimmin kunnostusmenetelmien valintaan vaikuttavat havai-tut haitta-aineet sekä maaperä- ja pohjavesiolosuhteet. Merkittävästi vaikuttaa myös käytettävissä oleva aika. Massanvaihdon järkevyyteen vaikuttaa vastaanottavan laitok-sen etäisyys ja vastaanottohintaa sekä korvaavien massojen saatavuus.

Maaperän terveysperusteiset viitearvot on määritetty erikseen asuin- ja teollisuusalueil-le. SHP_{ter} kuvaa suurinta hyväksyttävää pitoisuutta asuinkäytössä olevalla pientaloalu-eella ja $SHPT_{ter}$ työpaikkakäytössä olevalla teollisuusalueella. Virkistys- ja liikennealu-eille ei ole määritetty omia viitearvoja. Terveydellisesti hyväksyttävät haitta-ainepitoisuudet kohteessa voidaan karkeasti määrittää mahdollisten altistusreittien pe-rusteella. $SHP(T)_{ter}$ -arvojen ja niiden pohjalta asetettujen ohjearvojen soveltamisessa onkin huomioitava kohteen ominaispiirteet. (Reinikainen, 2007)

Tärkeimmät altistuslaskennassa käytetyt parametrit on esitetty liitteen 2 taulukossa. Taulukkoon on myös merkitty, mihin parametreihin pilaantuneen alueen maankäyttö ja kunnostustoimet vaikuttavat. Tärkeimmät parametrit, joihin alueen maankäyttömuoto vaikuttaa, ovat altistustiheys, pilaantuneella alueella viljeltyjen kasvien osuus koko-naiskulutuksesta ja oleskeluaika sisätiloissa. Kunnostustoimilla voidaan vaikuttaa paitsi haitta-aineiden pitoisuuksiin, myös pilaantuneisuuden syvyyteen ja sitä kautta haitta-ainehiukkasten pitoisuuteen ilmassa. Lisäksi rakenneteknisillä ratkaisilla voidaan vä-hentää haitta-aineiden pääsyä sisäilmaan (mm. ryömintätilan ja sisäilman tuuletusjärjes-telmillä ja alapohjan tiiveydellä). (Reinikainen, 2007)

Kunnostuksen tarkoituksena on poistaa riski tai pienentää sitä. Riskiä voidaan pienentää poistamalla pilaantuneisuus, katkaisemalla kaikki mahdolliset altistus- ja kulkeutumisreitit tai poistamalla altistajat pilaantuneesta kohteesta. "Täydellinen" kunnostusmenetelmä on nopea, halpa ja aiheuttaa mahdollisimman vähän haittaa tulevaisuudessa. Harvoin kuitenkin pystytään samalla kunnostusmenetelmällä saavuttamaan kaikkia tavoitteita, joten kunnostusmenetelmää valitessa täytyy arvioida, mistä tavoitteista voidaan tinkiä.

5.1 Asuinalueet



Kuva 6 Haitta-aineiden kulkeutumis- ja altistusreitit asuinalueella

5.1.1 Altistujat

Asuinalueilla oleville haitta-aineille altistuvat ihmiset kaikista ikäryhmistä sekä mahdollisesti koti-eläimet. Altistuminen on myös päivittäistä ja pitkäaikaista. Erityistä huomiota tulee kiinnittää kohteisiin, joille suunnitellaan päiväkotia tai kouluja, joissa erityisesti lapset viettävät paljon aikaa. Päälystämättömillä piha-alueilla lapset ovat erityisessä altistumisvaarassa.

5.1.2 Haitta-aineiden merkittävimmät altistusreitit

Asuinalueilla harjoitetaan lähes kaikenlaista toimintaa, ja haitta-aineille altistuminenkin tapahtuu lähes kaikkia kuviteltavissa olevia reittejä pitkin. Kynnys- ja ohjearvoja määrittäessä merkittävimmät altistusreitit ovat olleet alueella viljeltyjen ravintokasvien syöminen ja maan nieleminen sekä haihtuvien yhdisteiden hengitys sisäilman kautta. Altistumista voi tapahtua myös maapölyä hengittämällä, mutta tämä on katsottu kokonaisaltistuksen kannalta merkityksettömäksi. Terveysperusteisten viitearvojen laskennassa käytetyt altistusreitit ovat olleet ruoansulatuskanava (maan tahaton nieleminen, ravintokasvien syöminen ja vesijohtoveden juominen), hengityselimet (sisä- ja ulkoilman, pölyn ja vesijohtovedestä haihtuvien haitta-aineiden hengitys) sekä iho (suora

kosketus pintamaassa oleviin haitta-aineisiin ja kosketus vesijohtovedessä oleviin haitta-aineisiin). Merkittävin huomiotta jätetty altistusreitti on pohjaveden käyttö talousvetenä. (Reinikainen, 2007)

Altistumisreitit riippuvat huomattavasti myös asuinalueen tyypistä. Taajamissa ravintokasvien viljely on harvinaista, joten sisäilman hengittämisen ja maan nielemisen merkitys altistusreitinä korostuvat. Kerrostalojen piha-alueet ovat usein asfaltoituja, jolloin sisäilman hengitys on käytännössä ainoa altistusreitti. Haja-asutusalueilla, joilla viljellään paljon ravintokasveja ja käytetään kaivovettä, ravintokasvien ja juomaveden kautta tapahtuva altistus on merkittävää. Asuinalueet voidaan jakaa kolmeen ryhmään: pientaloalueet, joilla viljellään ravintokasveja, pientaloalueet, joilla ei viljellä ravintokasveja sekä kerrostaloalueet.

Hollantilaisessa CSoil mallissa oletusskenaariona on asuinalue, jolla on puutarha (parametrit esitetty liitteessä 2). Tämän lisäksi tunnistetaan asuinalue keittiöpuutarhalla, jossa omalla pihalla viljeltyjen kasvien osuus kokonaiskulutuksesta on suurempi (juureksille 50 % ja vihanneksille 100%).

5.1.3 Kunnostustavoitteet

Periaatteessa ihmisten altistuminen haitta-aineille asuinalueella estyy, kun pilaantunut pintamaa korvataan puhtaalla ja haitta-aineiden kulkeutuminen sisäilmaan, käyttöveteen sekä ravintokasveihin estetään. Haitta-aineet eivät myöskään saa aiheuttaa riskiä rakenteille. Kunnostettaessa alueita, joilla harjoitetaan ravintokasvien viljelyä, tulee kunnostus ulottaa sellaiseen syvyyteen, että kasvit eivät ota haitta-aineita ravinteiden mukana.

Asuinalueilla myös mielikuviin perustuvat kunnostustavoitteet korostuvat, sillä tontit ovat usein yksityisessä omistuksessa.

5.1.4 Soveltuvat kunnostusmenetelmät

Massanvaihto

Rakennettavilla alueilla joudutaan mahdollisesti kaivamaan joka tapauksessa rakentamisen vuoksi. Massanvaihdon suunnittelussa voidaan huomioida tulevan rakentamisen vaatimat maaperäominaisuudet ja valita korvaavat maamassat sen mukaisesti. Pilaantuneet massat ovat ylös kaivettuna jätettä, jolloin niitä tulee käsitellä jätelain mukaisesti. Jos massoja ei viedä ympäristöluvan omaavalle sijoituspaikalle, tulee niiden sijoittamiselle hakea ympäristö lupa. (Ympäristöministeriö, 2007)

Massanvaihto voidaan tehdä myös osittain, vain tiettyyn syvyyteen asti. Suora kosketus ja maan syönti voidaan estää jo pintakerroksen vaihtamisella ja haitta-aineiden siirtymisen ravintokasveihin paksummalla puhtaalla maakerroksella.

Massanvaihdon etuna on, että pilaantuneet maat poistetaan kohteesta pysyvästi eikä pilaantuneisuus aiheuta enää rasitetta maan omistajalle.

Massanvaihto soveltuu käytännössä kaikille haitta-aineille, myös silloin, kun alue on sekapilaantunut. Joissain tapauksissa massojen kaivaminen pohjavedenpinnan alapuo-

lelta voi olla mahdotonta ja pohjaveden pintaa joudutaan alentamaan pumpppaamalla tai etsimään vaihtoehtoisia kunnostusmenetelmiä. (Mroueh ym., 2004)

Eristäminen

Jos maaperässä ei ole haihtuvia yhdisteitä, voi haitta-aineiden eristäminen paikalleen tulla kyseeseen myös asuinalueilla. Eristerakenne ei poista haitta-aineita maaperästä, vaan rajoittaa niiden kulkeutumista. Erityisesti asutuilla alueilla tulee huolehtia rakenteiden pitkäaikaiskestävyydestä ja siitä, että eristetyt haitta-aineet eivät aiheuta kemiallista tai fysikaalista rasitusta rakenteille. Eristerakenteen vaatiman tarkkailun järjestäminen asutuilla alueilla saattaa aiheuttaa hankaluuksia omistussuhteiden muuttuessa. Maahan jätetty pilaantuneisuus myös laskee alueen arvoa.

In situ -menetelmät

Tapauksissa, joissa rakenteiden vuoksi massoja ei voida kaivaa, voi in situ -menetelmien käyttö onnistua. Menetelmät pienentävät niiden pitoisuuksia pitkän ajan kuluessa, eikä niillä aina päästä täysin puhtaaseen lopputulokseen. Tämä pitää huomioida, jos kunnostuksella on kiire ja tavoitepitoisuudet ovat alhaiset, kuten asuinalueilla usein on. In situ -menetelmien käyttö asuinalueiden kunnostuksissa on ollut erittäin harvinaista Suomessa, mutta esimerkiksi huokoskaasupuhdistusta on käytetty menestyksekkäästi öljyvahinkojen yhteydessä pilaantuneisuuden poistamiseksi rakennusten alta.

5.1.5 CASE: Tervasaaren entinen saha (Hamina)

Tervasaaren sahan toiminta on aloitettu jo 1900-luvun alussa. Alue on pilaantunut sinistymisenestoaine, KY-5-valmisteen käytön seurauksena 2,3,4,6-tetrakloorifenolilla, 2,4,6-trikloorifenolilla, pentakloorifenolilla, polyklooratuilla dibentso-p-dioksiineilla ja furaaneilla (PCDD/F-yhdisteillä) sekä paikoin, mineraaliöljyillä ja raskasmetalleilla. Suurimmat PCDD/F-pitoisuudet olivat 0,073 mg/kg, mikä ylittää ongelmajätepitoisuuden raja-arvon, havaittiin myös ongelmajätteen raja-arvon ylittävä pitoisuus mineraaliöljyjä (11 000 mg/kg) ja lieviä pitoisuuksia lyijyä ja sinkkiä (n. 400 mg/kg). Kunnostusalueella ollaan ottamassa osin asuin- ja osin virkistyskäyttöön. Ranta-alueen pintakerrokset (0-0,8 m) ovat pääosin hiekasta ja sorasta tehtyjä rakennekerroksia. Rakennekerrosten alla on 2-3 metriä puu- tai kuoritäyttöä, jonka alla oleva perusmaa on silttiä.

Altistujat

Tulevissa maankäytöissä altistujia tulevat olemaan alueen asukkaat sekä puistoalueella oleskelevat ihmiset.

Altistusreitit

Alueella todetuille haitta-aineille on mahdollista altistua pölyn ja hiukkasten hengityksen, suoran kosketuksen ja maan syönnin kautta.

Altistumisen estäminen ja kunnostustavoitteet

Kunnostussuunnitelmassa esitettiin kunnostustavoitteiksi asuinalueelle alempia ohjearvoja ja virkistysalueen pintamaassa (0-0,5 m) VnA:n luonnoksen (2.2.2006) alempia

ohjearvoja ja sitä syvemmällä ylempiä ohjearvoja. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus katsoi kuitenkin päätöksessään (KAS-2006-Y-113-111), että puhtaan pintakerroksen tulee olla vähintään 0,8 metrin paksuinen ja päällimmäisen 0,10 metrin pitoisuuksien tulee alittaa luonnoksen tavoitepitoisuudet (lopullisen asetuksen kynnysarvot).

SYKE esitti lausuntonaan lupahakemukseen, että PCDD/F-yhdisteiden ylempää ohjearvoa ollaan laskemassa luonnoksessa esitetystä 5000 ng/kg:sta noin tasolle 500-1000 ng/kg (lopullisessa asetuksessa 1500 ng/kg). SYKEN näkemyksen mukaan ympäristölupahakemuksessa esitetyt tavoitepitoisuudet olivat kuitenkin riittävät mm. siksi, että alueelle rakennetaan kerrostaloja, joiden piha-alueet tulevat todennäköisesti olemaan suurimmaksi osaksi peitettyjä ja haitta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen ja sen mukana laajemmille alueille ei ole olennainen riski kohteessa.

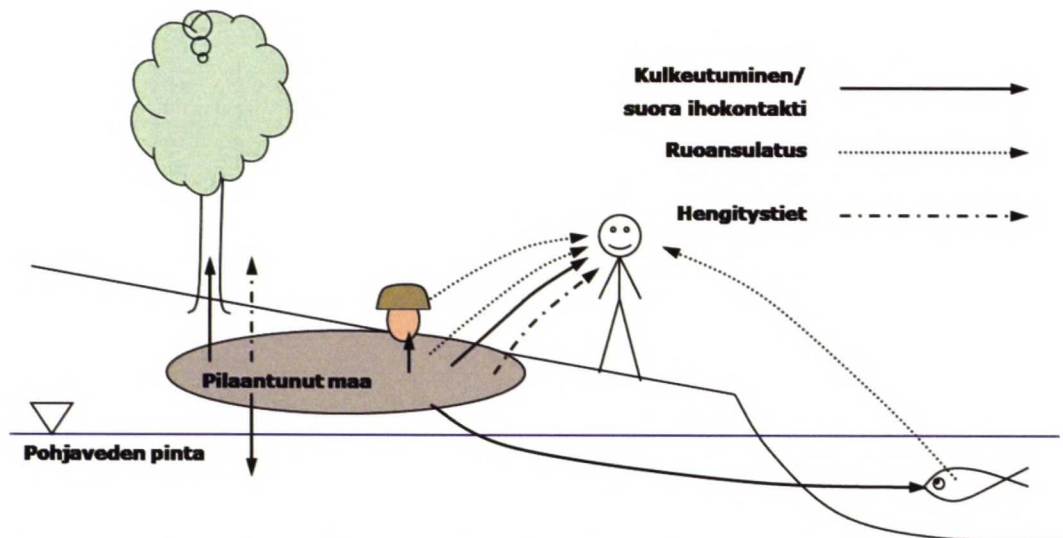
Kunnostusmenetelmät

Tuleva asuinalue suunniteltiin kunnostettavaksi massanvaihdoilla, joka ulotetaan puhtaaseen maahan tai kallio- tai pohja-/merivesipintaan asti. Alueelta löydetty puutäyttö poistetaan rakennusteknisistä syistä, mutta sitä voidaan hyödyntää ranta-alueella rakennettavassa rantapenkereessä. Virkistysalueen kunnostusmenetelmänä käytetään pääasiassa peittämistä/eristämistä, mutta alueet, joilla pitoisuudet ylittävät ylemmät ohjearvot kunnostetaan massanvaihdoilla. Jos alueelle joudutaan esim. kaivuteknisistä syistä jättämään kunnostustavoitteet ylittäviä haitta-ainepitoisuuksia, tulee ne erottaa puhtaista maista huomioverkolla tai -muovilla tai suodatinkankaalla. Tällöin täytyy myös tehdä riskinarvio alueelle jäävistä pilaantuneista massoista sekä suunnitelma, jossa esitetään jatkotoimenpiteet. Alueelta poistettavien massojen määrät arvioitiin seuraavanlaisiksi:

- Yli ongelmajätteen raja-arvon pilaantunut maa: n. 8 000 t
- Voimakkaasti pilaantunut maa ja puu: n. 13 000 t
- Lievästi pilaantunut maa: n. 34 000 t
- Rantapenkereeseen sijoitettavat puutäytöt: 4 000 t lievästi pilaantuneita ja 12 000 t puhtaita

Alue jaettiin kahteen osaan, joista A osan kunnostus on suoritettu vuonna 2007. Kunnostuksen yhteydessä alueelta poistettiin 23 907 tonnia pilaantuneita maa-aineksia, mikä on noin 40 % koko alueen arvioidusta määrästä. Koko kunnostetulla alueella saavutettiin kunnostustavoitteet, joten alue soveltuu jatkossa asuinkäyttöön. B-osan kunnostus toteutetaan kaavoituksen ja rakentamisen edetessä.

5.2 Virkistysalueet



Kuva 7 Kulkeutumis- ja altistusreitit virkistysalueilla

5.2.1 Altistujat

Virkistysalueilla tarkoitetaan tässä työssä esim. yleisiä puistoja ja urheilukenttiä. Näillä alueilla vietetään harvoin pitkiä aikoja kerrallaan, korkeintaan joitakin tunteja, joten altistuminen on hetkellistä. Jos virkistysalue on urheilukäytössä, pölyä voi nousta merkittävästi ja hengitystiheyden noustessa altistus hengitettävien kaasujen ja pölyn kautta lisääntyy. Virkistysalueillakin lapset voivat olla erityisen paljon suorassa kosketuksessa pilaantuneen pintamaan kanssa ja heidän tulee olla erityishuomion kohteena. Erityisesti leikkikenttiä rakentaessa lasten käyttäytyminen tulee ottaa huomioon. Myös ulkoilutettavat lemmikit voivat olla altistumisvaarassa, erityisesti kaivaessaan maata.

Virkistysalueet ovat käsitellyistä maankäyttömuodoista ainoa, jolla eliöstön altistuminen haitta-aineille ja sen myötä muutokset alueen ekologiaan voi olla merkityksellistä. Myös alueen luonnonvaraiset eläimet voivat altistua haitta-aineille.

5.2.2 Haitta-aineiden merkittävimmät altistusreitit

Virkistysalueilla ei vietetä niin paljon aikaa kuin asuinalueilla, joten sisä- ja ulkoilman hengitys sekä alueella viljeltyjen ravintokasvien syöminen altistusreiteinä menettävät merkitystään. Merkittäviksi altistusreiteiksi jäävät tällöin pilaantuneen maan ja veden päätyminen ruoansulatukseen, ihokosketus sekä maapölyn hengittäminen. Erityisesti tulee kiinnittää huomiota maan syömiseen alueilla, joilla liikkuu paljon lapsia.

Metsäalueilla, joilla kasvaa ravintokasveja, merkittävimäksi altistusreitiksi muodostuu ravintokasvien syöminen. Jos alueella harjoitetaan kalastusta tai metsästystä, voi altistumista tapahtua myös ravintoketjun kautta.

CSoil-mallissa on esitetty erillisinä altistusskenaarioina lasten leikkipaikat, luonto ja virkistysalueet, joihin kuuluvat urheilukentät ja kaupunkipuistot. Nämä eroavat oletusskenaariosta erityisesti ravintokasvireitin puuttumisen osalta. Lisäksi kaikissa vietetään vähemmän aikaa sisätiloissa ja lasten leikkipaikkoja lukuun ottamatta altistustiheys on oletettu pienemmäksi.

Virkistysalueet ovat tässä työssä tarkasteltavista maankäyttömuodoista ainoa, jossa myös ekologiset riskit pitää huomioida. Varsinkin luonnontilaisilla virkistysalueilla ekologiset riskit korostuvat.

5.2.3 Altistumisen estäminen ja kunnostustavoitteet

Puistoalueilla saattaa riittää, että pilaantunut pintakerros vaihdetaan puhtaaseen, jolloin haitta-aineiden leviäminen pölyämisen mukana ja altistuminen hengitysteitse sekä maan syömisestä estyy. Puhtaan pintakerroksen pitää olla tarpeeksi paksu, jotta leikkiesseen maata kaivavat lapset ja koirat eivät vahingossa pääse kosketuksiin haitta-aineiden kanssa. Riippuen alueen luonteesta saattaa olla tarpeellista myös estää haitta-aineiden kulkeutuminen ravintokasveihin ja eläimistöön.

Myös muilla virkistysalueilla, kuten esimerkiksi urheilukentillä, pintakerrokset vaihdetaan rakentamisen yhteydessä.

Eräässä kunnostuskohteessa altistus dioksiineille ja furaaneille villinä kasvavien vadelmien kautta todettiin merkitykselliseksi. Kunnostustavoitteeksi esitettiin alempaa ohjearvoa, joka on viisi kertaa korkeampi kuin terveysperusteinen viitearvo, sillä ehdolla, että syötäväksi kelpaavat kasvit, mm. vadelmapensaat, raivataan alueelta säännöllisesti ja ravintokasvien viljely alueella kielletään.

5.2.4 Soveltuvat kunnostusmenetelmät

Massanvaihto

Jos haitta-aineista halutaan päästä eroon nopeasti ja täydellisesti, on massanvaihto ainoa ratkaisu. Virkistysalueilla on kuitenkin harvoin tarvetta tähän ja laajojen alueiden kunnostaminen massanvaihdolla voi tulla kalliiksi. Jos alue on pilaantunut herkästi liikkuvilla haitta-aineilla, joiden kulkeutumista ei voida muulla keinoin estää, saattaa massanvaihto olla tarpeellista.

Monesti alueen pintakerrokset halutaan vaihtaa rakentamisen yhteydessä, jolloin massanvaihto tulee suoritetuksi samalla.

Eristäminen

Virkistysalueita rakennettaessa joudutaan maan pintakerrokset todennäköisesti vaihtamaan joka tapauksessa esimerkiksi maisemoinnin tai liikuntapaikkojen rakentamisen yhteydessä. Tällöin alueen pintaeristysrakenne on helppo toteuttaa eikä siitä aiheudu merkittäviä lisäkustannuksia. Ihmisten altistuminen haitta-aineille alueella voidaan estää täysin puhtaalla pintakerroksella, mutta jos haitta-aineiden kulkeutuminen pohjaveden mukana on mahdollista, tulee mahdollisesti toteuttaa myös pohja- ja pystyeristys. Pinta-

eristyksessä tulee huolehtia, että kasviston juuret eivät pääse rikkomaan eristerakennetta. Esimerkiksi laajat, tasaiset pallokentät ovat ihanteellisia paikkoja eristerakenteille.

In situ -menetelmät

Alueille ei välttämättä tarvitse tehdä rakenteita, joiden vuoksi pilaantuneita massoja olisi tarpeen kaivaa ylös. Jos haitta-aineiden kulkeutumisesta ja niille altistumisesta ei ole välitöntä vaaraa, mutta haitta-aineista halutaan päästä eroon, voidaan kunnostukseen käyttää paljonkin aikaa. Tällöin myös aikaa vievät in situ menetelmät, voivat olla käyttökelpoisia. Tasaiset kentät ovat eristyksen tavoin käyttökelpoisia kohteita myös in situ -menetelmillä kunnostamiselle.

Esimerkiksi reaktiivinen seinämä yhdistettynä eristerakenteeseen voisi olla käyttökelpoinen ratkaisu alueella, jolla haitta-aineiden kulkeutuminen pohjaveden mukana halutaan estää.

Fytoremediaatio

Fytoremediaatio saattaa olla erityisen käyttökelpoinen kunnostusmenetelmä puistoille. Kunnostettavalle alueelle istutetaan kasveja, jotka poistavat pilaantuneisuutta pitkän ajan kuluessa ilman merkittäviä ylläpitotoimenpiteitä ja suurempia rajoitteita alueen virkistyskäytölle. Suuret pitoisuudet voivat kuitenkin aiheuttaa haittaa kasveille ja kasvien juuristot eivät poista pilaantuneisuutta kovin syvältä maaperästä. Fytoremediaatiota voidaan kuitenkin käyttää laajoilla alueilla, joilla on lievää pilaantuneisuutta ja joita ei ole järkevää lähteä kunnostamaan muilla menetelmillä.

Fytoremediaatio soveltuu BTEX-yhdisteille, klooratuille liuottimille, PAH-yhdisteille sekä useille raskasmetalleille. (Penttinen, 2001)

5.2.5 CASE: Eiranranta (Helsinki)

Eiranrannan rantapuistoalue Helsingissä on vanhaa täyttöaluetta, jolla on talvisin säilytetty veneitä. Alueen pilaantuneisuutta on tutkittu vuonna 2005 alueen poikki kulkeneen junaradan purkutöiden yhteydessä ja laajemmin syksyllä 2008. Tutkimuksien perusteella alueen on todettu pilaantuneen raskasmetalleilla ja PAH-yhdisteillä. Pilaantuneita massoja arvioidaan olevan yhteensä 8 900 m³. Alueelle on suunniteltu rakennettavaksi koirapuisto, leikkipuisto sekä pysäköinti- ja viheralueita. Kunnostusalue on jaettu tulevan käyttötarkoituksen mukaan neljään osa-alueeseen.

Altistujat

Kohteessa altistujina ovat alueella liikkuvat ihmiset, erityisesti leikkipuistossa leikkivät lapset.

Altistusreitit

Kohteen pilaantuneisuustutkimuksissa havaittiin alempien ja ylempien ohjearvojen ylittäviä PAH-, sinkki-, kupari- ja lyijypitoisuuksia sekä ongelmajätearvon ylittävät kupari- ja PAH-yhdistepitoisuudet. Lisäksi havaittiin hienoisesti alemman ohjearvon ylittävä PCB-pitoisuus.

Kohteen riskinarvioinnissa merkityksellisiksi haitta-aineiksi valittiin kupari, sinkki, lyijy, antimoni, arseeni, PCB, bentso(a)antraseeni, bentso(a)pyreeni, fenantreeni, fluorantreeni, antraseeni, bentso(k)fluorantreeni sekä naftaleeni.

Kulkeutumisriskin muodostavat naftaleeni, antimoni ja jotkut kupariyhdisteet. Fenantreenin kulkeutumista mereen pidetään mahdollisena, mutta epätodennäköisenä.

Altistumismahdollisuuksia syntyy raskasmetallien ja PAH-yhdisteiden kulkeutumisesta elimistöön pölyn hengittämisen ja maan syömisen kautta. Kohteessa on havaittu terveysperusteiset viitearvot ylittäviä lyijy-, antimoni- ja PAH-pitoisuuksia.

Maaperän haitta-aineiden arvioidaan voivan aiheuttaa vaikutuksia maaperäeliöstöön, mutta eliöstön katsotaan kuitenkin sopeutuneen pitkään maaperässä olleisiin haitta-ainepitoisuuksiin, joten siihen ei arvioida kohdistuvan riskejä.

Altistumisen estäminen ja kunnostustavoitteet

Alueella ei viljellä ravintokasveja eikä siellä oleskella pysyvästi ja suora kosketus maahan sekä pölyäminen on pääosin estetty nurmella tai asfaltilla. Leikkipuistoalueella on mahdollista, että lapset kaivavat syviä kuoppia ja voivat siten joutua kosketuksiin haitta-aineiden kanssa. Altistumisen estämiseksi katsotaan riittävän, että suora kosketus pilaantuneisuuteen on estetty puhtaalla pintakerroksella. Alueella ollaan kuitenkin toteuttamassa rakentamistoimenpiteitä, joiden aikana pilaantuneet maat on huomioitava. Helsingin kaupungin ympäristökeskus asetti päätöksessään (Ymk 2009-1434) tavoitteeksi poistaa kaikki ongelmajätepitoisuuden ylittävät massat ja muut pilaantuneet maa-ainekset rakentamisen vaatimassa laajuudessa sekä estää kontakti pilaantuneeseen maahan.

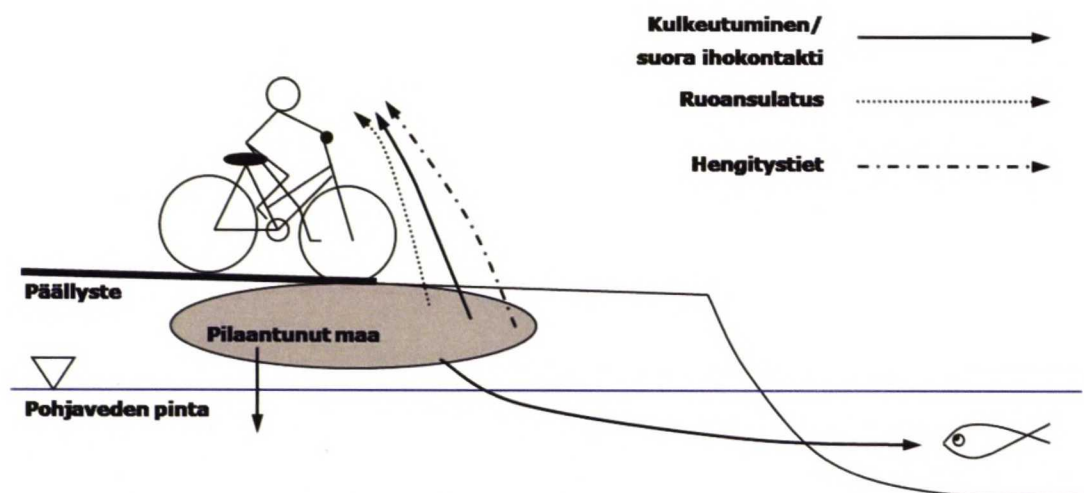
Kunnostusmenetelmät

Alueen kunnostaminen suunniteltiin toteutettavaksi poistamalla pilaantuneet maat rakentamisen vaatimassa laajuudessa ja peittämällä alueelle jäävät pilaantuneet massat puhtailla rakenteilla. Poistettavat pilaantuneet massat toimitetaan luvanvaraisiin vastaanottoaikoihin ja niitä voidaan tarvittaessa välivarastoida työmaa-alueella.

Alueelta on määrätty poistettavaksi kaikki pilaantuneet maat, joiden pitoisuudet ylittävät ongelmajäteraja-arvot ja lisäksi lievemmin pilaantuneet maat, jotka joudutaan kaivamaan rakentamisen vuoksi. Poistaa tulee myös jätelakeet, jotka saattavat aiheuttaa vaaraa ympäristölle tai terveydelle. Lisäksi alueelle tulee rakentaa puhtaat suojakerrokset, jotka ovat nurmialueilla 0,2 metrin ja muualla 0,5 metrin paksuiset. Istutettavat puut, kunnallistekniset ja muut rakenteet tulee asentaa maahan siten, että kasvien istutusalueita ja rakenteita ympäröi vähintään 0,3 metriä paksu maakerros, jossa haitta-ainepitoisuudet ovat alle alempien ohjearvojen. Leikkipuistoalueelta on määrätty poistettavaksi maa-aines, jonka haitta-ainepitoisuudet ylittävät alemmat ohjearvot. Lisäksi leikkipuistoon on tehtävä 0,2 metrin paksuinen pintarakenne, jossa pitoisuudet alittavat kynnyсарvot.

Kunnostustyön on aloitettu kesällä 2009.

5.3 Liikennealueet



Kuva 8 Kulkeutumis- ja altistusreitit liikennealueilla

5.3.1 Altistujat

Liikennealueilla altistuminen voi olla säännöllistä, mutta usein lyhytaikaista. Moottori-
teillä altistuminen on käytännössä mahdotonta, mutta kevyen liikenteen väylillä liikku-
jille altistuminen on mahdollista. Altistumisriski kohdistuu kaikkiin ikäryhmiin sekä
esimerkiksi ulkoilutettaviin lemmikkieläimiin.

5.3.2 Haitta-aineiden merkittävimmät altistusreitit

Liikennealueet ovat usein päällystettyjä, eikä niillä ole asuin- tai liikerakennuksia, joten
haitta-aineille altistuminen on hyvin epätodennäköistä. Päällystetyillä alueilla haitta-
aineille altistumien on mahdollista vain siten, että ne kulkeutuvat orsi- tai pohjaveteen
tai kadun alla sijaitseviin putkistoihin. Kuitenkin päällystämättömillä alueilla, joille ke-
vyen liikenteen käyttäjät pääsevät voi altistusta tapahtua pintamaasta pölyämisen, tahat-
toman syömisen ja ihokosketuksen kautta.

5.3.3 Altistumisen estäminen ja kunnostustavoitteet

Koska liikennealueilla ei ole rakennuksia ja niillä vietetään vain lyhyitä aikoja kerral-
laan, altistuminen voi tapahtua vain suoran kosketuksen ja pölyn hengittämisen kautta.
Usein liikennealueet ovat myös päällystettyjä, jolloin nämäkin altistusreitit jäävät pois.
Ainoastaan pienillä sorateilla, joilla jalankulkijat liikkuvat sekä niiden ympäristössä al-
tistuminen voi olla merkityksellistä. Tämä altistus voidaan estää puhtaalla pintakerrok-
sella. Pintakerroksen laatu ja paksuus vaikuttavat myös haitta-aineiden kulkeutumisris-
kiin.

Liikennealueilla tausta-altistus erityisesti hiilivetyjen ja raskasmetallien osalta voi olla
merkityksellistä, joten se tulee ottaa huomioon kunnostustavoitteita asetettaessa.

5.3.4 Soveltuvat kunnostusmenetelmät

Massanvaihto

Katualueita rakentaessa massanvaihto voi olla tarpeellista joka tapauksessa katujen rakennekerrosten vuoksi. Kunnostusalueen sisällä voi olla mahdollista siirtää pilaantuneita massoja herkemmillä alueilla hyödynnettäväksi teiden pohjana tai esimerkiksi meluvalleissa. Tällöin vältetään loppusijoitus tai puhdistuskustannuksilta sekä säästetään puhtaita täyttömassoja muihin kohteisiin.

Eristys

Pintarakenne toimii jossain määrin eristävänä rakenteena ja vähentää suotovesien pääsyä maahan sekä haitta-aineiden kulkeutumista sen mukana. Lisäksi tiealueille tehdään lähes aina pintarakenne, joten eristyskerroksen tekemisestä ei tule merkittäviä lisäkustannuksia.

Jos alueella on orsi- tai pohjavettä ja haitta-aineiden kulkeutuminen niiden mukana alueen ulkopuolelle on mahdollista, tulee harkita eristysrakenteita myös sivusuunnassa. Eristäminen ei kuitenkaan sovellu helposti haihtuvilla tai kulkeutuvilla haitta-aineilla pilaantuneille alueille.

In situ –menetelmät

Joidenkin in situ -menetelmien vaatimien rakennelmien asentaminen tiealueille voi olla haasteellista. Niiden asentaminen pysäköintialueille, jotka ovat tasaisia, laajoja alueita on huomattavasti helpompaa.

5.3.5 CASE: Kehä III (Vantaa)

Kehä III ja Hämeenlinnanväylän alueelle ollaan tekemässä tien parantamiseen liittyviä rakennustöitä, esimerkiksi rakentamassa lisäkaistoja, kevyen liikenteen väyliä sekä meluvalleja. Alueen pilaantuminen johtuu pääosin liikenteestä, mutta siellä on ollut aiemmin myös liikennevahinko sekä huoltoasematoimintaa, jotka ovat osaltaan lisänneet maaperän pilaantumista. Alueilla on tehty kunnostustoimenpiteitä, mutta niille on jäänyt öljyllä ja haihtuvilla yhdisteillä pilaantuneita massoja. Alueen ympäristössä on pääasiallisesti liike- ja varastotoimintaa sekä pysäköintialueita. Hämeenlinnanväylän varrella on asutusta ja Vantaankosken ja Martinkylän eritasoliittymien läheisyydessä sijaitsee kouluja. Koko kunnostusalue on tulevaa tie- ja liikennealuetta.

Kunnostettavan alueen läheisyydessä on kaksi I-luokan pohjavesialuetta, joista kumpaankaan ei ole tällä hetkellä käytössä. Kunnostusalueen läpi kulkee Vantaanjoki.

Alueen tutkimuksissa havaittiin ylemmän ohjearvon ylittävät pitoisuudet öljy-yhdisteitä ja sinkkiä. Kynnyksarvon ylittäviä pitoisuuksia havaittiin lyijyn, antimonin ja arseenin osalta. Riskinarvioinnissa kriittisiksi aineiksi valittiin kaikki, joiden pitoisuudet ylittivät kynnyksarvot sekä BTEX-yhdisteet, joita oli havaittu aikaisemmissa tutkimuksissa. Havaituista öljy-yhdisteistä asuinalueiden terveysperusteiset viitearvot ylittää ainoastaan alifaattisten EC₁₀-EC₁₂ -fraktioiden pitoisuus. Liukoisuustestit osoittivat massojen alitavan pysyvän jätteen kaatopaikan liukoisuusstandardit.

Altistujat

Mahdollisia altistujia ovat alueella liikkuvat kevyen liikenteen käyttäjät.

Altistusreitit

Alueilla, joille jalankulkijoilla on pääsy, mahdollisiksi altistusreiteiksi arvioitiin suora kosketus, maan syönti sekä haihtuville yhdisteille hengitystiet. Kuitenkin, suuri osa alueesta asfaltoidaan, jolloin näillä alueilla altistuminen epäorgaanisille haitta-aineille ei ole mahdollista. Myös pölyämisen kautta tapahtuva altistuminen katsotaan epätodennäköiseksi, sillä päällystämättömätkin kohdat tullaan nurmettamaan, jolloin pölyäminen estyy. Mahdollisilla altistusalueilla ei myöskään oleskella säännöllisesti, joten altistus-aika jää lyhyeksi.

Altistumisen estäminen ja kunnostustavoitteet

Uudenmaan ympäristökeskus määräsi päätöksessään YS 504/2009 kunnostustavoitteiksi öljyhiilivetyjen keskitisileille ja raskaille öljyjakeille sekä epäorgaanisten haitta-aineiden pitoisuuksille ylemmät ohjearvot, lukuun ottamatta pintamaita (0-0,3 m) alueilla, jonne kevyellä liikenteellä on pääsy, missä tavoitteina antimonille, lyijylle öljyhiilivedyille määrättiin käytettäväksi alempia ohjearvoja. Lisäksi Backaksen pohjavesialueen välittömässä läheisyydessä asetettiin kunnostustavoitteiksi antimonille 4 mg/kg, arseenille 10 mg/kg, lyijylle 100 mg/kg ja öljyhiilivedyille alemmat ohjearvot.

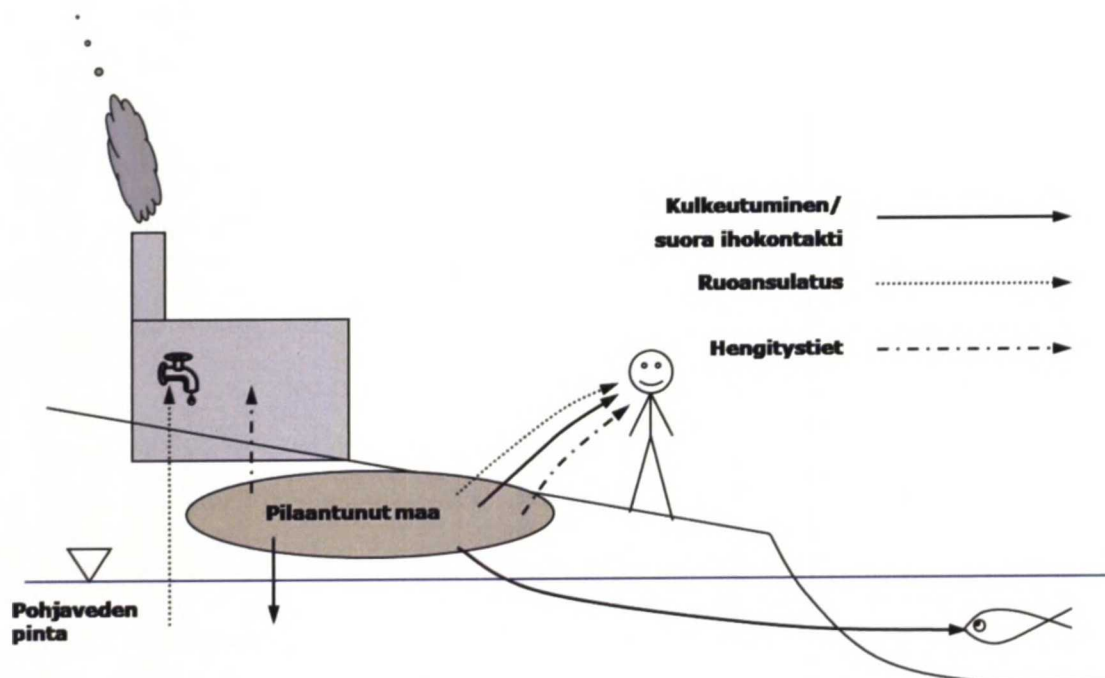
Alueellinen ympäristökeskus katsoo, että alueella ei ole suurta ekologista merkitystä. Haitta-aineita ei myöskään kulkeudu alueen ulkopuolelle, jos alue kunnostetaan esitettyihin tavoitepitoisuuksiin. Ympäristökeskus katsoi kuitenkin, että BTEX-yhdisteiden osalta ei riskinarvioinnissa huomioitu mahdollista kulkeutumista riittävästi.

Soveltuvat kunnostusmenetelmät

Rakennusalueilta poistetaan maa-ainekset, joiden pitoisuudet ylittävät edellä esitetyt kunnostustavoitteet. Kunnostustavoitepitoisuudet alittavia massoja voidaan käyttää alueen täytöissä orsi- ja pohjavesipinnan yläpuolisissa kerroksissa. Pilaantuneiden, hyötykäyttävien massojen sijoituspaikoista, määrästä ja pitoisuuksista pidetään kirjaa ja ne esitetään kunnostuksen loppuraportissa. Alemman ohjearvotason ylittävät maamassat on erotettava kunnostetusta alueista huomio- ja tarvittaessa eristerakenteella.

Rakennustyöt alueella on aloitettu syksyllä 2009.

5.4 Teollisuus- ja työpaikka-alueet



Kuva 9 Kulkeutumis- ja altistusreitit teollisuus- ja työpaikka-alueilla

5.4.1 Altistujat

Teollisuus- ja työpaikka-alueilla riskit altistua haitta-aineille kohdistuvat lähinnä työikäiseen väestöön. Toisaalta päivittäinen altistusaika voi olla useita tunteja ja altistuminen toistua useita kertoja viikossa. Lisäksi ruumiillisen työn tekeminen nostaa hengitystiheyttä, jolloin haitta-aineita pääsee hengitysteiden kautta elimistöön enemmän. Teollisuus- ja varastoalueille pääsy on yleensä rajoitettua, joten altistus rajautuu kohteen työntekijöihin.

5.4.2 Haitta-aineiden merkittävimmät altistusreitit

Altistuminen alueilla tapahtuu enimmäkseen sisäilman hengityksen, mutta myös ihokosketuksen tai maan tahattoman nielemisen kautta lähinnä ruokailun ja tupakoinnin yhteydessä. Terveysperusteisten viitearvojen laskennassa teollisuusalueille on käytetty altistusreitinä ruoansulatuskanavaa (maan tahaton nieleminen), hengityselimiä (sisä- ja ulkoilman sekä maapölyn hengitys) ja suoraa ihokosketusta pintamaassa oleviin aineisiin.

Sosiaali- ja terveysministeriö on asettanut haitalliseksi tunnetut pitoisuudet eli ns. HTP-arvot. Ne ovat arvioita työntekijöiden hengitysilman epäpuhtauksien pienimmistä pitoisuuksista, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle, terveydelle tai lisääntymisterveydelle. Näiden arvojen laskennassa ei kuitenkaan ole huomioitu fyysisen rasituksen aiheuttamaa hengityksen voimakkuuden kasvua. (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2007)

CSoil-malli niputtaa teollisuus- ja työpaikka-alueet skenaarioon, johon on keräilty kaikki muihin kuuteen skenaarioon sopimattomat alueet. Erona oletusskenaarioon ovat ravintokasvien puuttuminen sekä pienemmät altistustiheydet ja alueella vietetty aika. (Brand ym. 2007)

5.4.3 Altistumisen estäminen ja kunnostustavoitteet

Rakennusten rakenne- ja ilmanvaihtoratkaisuilla voidaan estää työntekijöiden altistuminen sisäilman kautta. Valtioneuvoston asetuksessa annetut ylemmät ohjearvot on määritetty soveltuviksi pilaantuneisuuden arviointiin teollisuus- ja varastoalueilla ja niitä käytetäänkin usein kunnostustavoitteina tällaisissa kohteissa. Riippuen kohteen toiminnasta taustapitoisuudet voivat olla koholla jolloin ne tulee huomioida kunnostustavoitteita asetettaessa. Teollisuusalueet ovat usein suljettuja ulkopuolisilta, joten altistusta voidaan estää myös tiedottamalla haitta-aineista ja tarvittavista varotoimista.

Alueella, jolla harjoitetaan teollista toimintaa voi olla suurempi riski pilaantua jatkossa. Ylemmät ohjearvot on asetettu tavoitepitoisuuksiksi teollisuus- ja varastoalueille, joten alueiden täydellinen puhdistaminen ei välttämättä ole järkevää. Teollisen toiminnan jatkua kannattaa etsiä ratkaisuja, joiden vaikutus on pidempiaikainen.

5.4.4 Soveltuvat kunnostusmenetelmät

Massanvaihto

Massanvaihto soveltuu kunnostusmenetelmäksi myös teollisuusalueilla. Teollisuusalueilla on yleisesti käytetty korkeampia tavoitepitoisuuksia, joten puhtaiden maa-ainesten sijoittaminen alueelle voi olla resurssien hukkaamista.

Eristys

Teollisuusalueet sijaitsevat harvoin asutuksen tai ekologisesti merkittävien alueiden lähellä, joten suurienkin haitta-ainepitoisuuksien eristäminen niiden alle voi tulla kyseeseen.

In situ -menetelmät

Jos katsotaan, että haitta-aineet halutaan saada poistetuksi alueelta, mutta kunnostuksella ei ole kiirettä, voidaan in situ -menetelmiä käyttää kunnostukseen myös teollisuusalueilla.

5.4.5 CASE: Vantaco Oy, Säiliöalueen maaperän huokoskaasupuhdistus (Vantaa)

Kunnostettavalla kiinteistöllä oli harjoitettu maalinvalmistusta vuosina 1971-2005. Kunnostettavana oli maalityönteon käytössä ollut liuotinraaka-aineiden säiliövarasto-alue. Pilaantuneisuustutkimuksissa havaittiin alueen pilaantuneen ksyleeneillä, etyyli-bentseenillä, heptaanilla ja öljyhiilivedyllä. Pilaantuneen maan määräksi arvioitiin n. 100 m³ ja haitta-aineiden kokonaismääräksi 40-400 kg.

Altistujat

Mahdollisia altistujia olivat alueen työntekijät.

Altistusreitit

Riskinarviossa todettiin, että silloisessa tilanteessa haitta-aineiden vaikutus ympäristön tilaan ei ollut huomattava ja aineiden välitöntä poistamista ympäristösyistä ei katsottu tarpeelliseksi. Mahdolliseksi altistusreitiksi arvioitiin ainoastaan haitta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen, sekin merkityksettömän pieneksi. Asiakas kuitenkin päätti kunnostaa alueen maaperän, omistajanvaihdoksen takia.

Altistumisen estäminen ja kunnostustavoitteet

Ympäristökeskus asetti päätöksessään (No YS 1211/2006) kunnostustavoitteiksi helpos-
ti haihtuvien hiilivetyjen yhteenlasketuksi pitoisuudeksi 500 mg/kg ja yksittäisten yhdis-
teiden pitoisuuksiksi SAMASE-raja-arvot.

Kunnostusmenetelmät

Kunnostus toteutettiin vuonna 2008 huokosilmatekniikalla, koska alue oli pilaantunut haihtuvilla orgaanisilla haitta-aineilla ja liuotinsäiliöiden alapuolinen maaperä oli riittä-
vän läpäisevää. Lisäksi pilaantuneisuus oli säiliöalueella, rakennelaatan alla, joten sen
kaivaminen olisi ollut huomattavan hankalaa. Menetelmän soveltuvuuden varmistami-
seksi kohteessa tehtiin pumppauskokeita. Alueella oli valmiiksi viisi imuputkea ja nii-
den lisäksi asennettiin kuusi vertikaalista siiviläputkea n. metrin syvyyteen. Maaperästä
imetty huokoskaasu pudistettiin kahdella aktiivihiilisuodatuksen käsittelylinjalla. Kun-
nostus kesti noin 4,5 kuukautta, mutta tästä ajasta tehollisia imupäiviä oli vain 90, rank-
kasateiden ja niistä johtuvien imuputkien täyttymisen vuoksi. Poistettujen hiilivetyjen
kokonaismäärä oli noin 150 kg ja kunnostustavoitteet saavutettiin koko alueella.

5.4.6 CASE: Mikkelin entinen kyllästämö

Mikkelissä, Urpolan kaupunginosassa, on toiminut ratapölkkykyllästämö 1900-luvun
alusta vuoteen 1982. Kyllästämötoiminta on aiheuttanut maaperän ja pohjaveden pilaan-
tumisen öljyhiilivety- ja PAH-yhdisteillä, pääasiassa kreosoottiöljyllä. Pilaantuneisuus
ulottuu kyllästymättömässä maakerroksessa 1...10 metrin syvyyteen ja myös yli 10 m
pohjavedenpinnan alapuolelle, yhteensä jopa 20...30 metrin syvyyteen. Kyllästämöra-
kennuksen kohdalla pilaantuneisuus ulottuu kalliopintaan saakka. Myös alueen pohjave-
si on voimakkaasti pilaantunutta ja alueen kallioruhjeissa on havaittu paikoittain kre-
soottiöljyä omana faasinaan. Vesiliukoisimpien PAH-komponenttien on havaittu kul-
keutuneen pieninä pitoisuuksina pohjaveden virtaussuunnassa kohti Pursialan vedenot-
tamo. Pohjavedenpinnan yläpuolella olevan pilaantuneen maan määräksi arvioitiin 46
572 m³ ja PAH yhdisteiden määräksi 61 637 kg, pohjavedenpinnan alapuolella 22 295
m³ ja 8 003 kg (yht. 68 866 m³ ja 69 640 kg).

Kohde sijaitsee I-luokan pohjavesialueella, 1,4 km etäisyydellä Pursialan vedenottamo-
sta, josta Mikkelin kaupunki ottaa 50-70 % talousvedestään. Lisäksi kohteen eteläpuolel-
la, 500 metrin päässä, sijaitsee Urpolan luonnonsuojelualue. Vanha kyllästämöalue on
kaavoitettu liike-, toimisto-, teollisuus- ja varastorakennusten alueeksi. Päätoimintojen

lisäksi alueelle saa rakentaa enintään 2 asuntoa tonttia kohti kiinteistön hoidolle välttämätöntä henkilökuntaa varten. Kunnostusalueen läpi kulkee valtatie 5, jonka alle pilaantuneisuus jatkuu.

Kohteesta on tiettävästi poistettu pilaantuneita maita jo vuonna 1959 alueen valumistasanteiden ja varastointialueiden asfaltoinnin yhteydessä. 60-luvulla suoalueella on tehty turvekerroksen massanvaihto noin kahden metrin syvyyteen asti. 80-luvulla Kylälästämötoiminnan loputtua ja rakennuksia purettaessa poistettiin pilaantuneita massoja enimmillään kuuden metrin syvyyteen asti. Vanhoista kunnostuksista ei kuitenkaan ole ollut saatavissa tarkkoja dokumentteja.

Altistujat

Suurimassa altistumisvaarassa ovat alueella asuvat ihmiset, erityisesti lapset. Kohteeseen on suunnitteilla myös liikerakennus, jonka työntekijät ja asiakkaat ovat lievässä altistumisvaarassa.

Altistusreitit

Suurimmaksi pitkän aikavälin riskiksi arvioitiin veteen jossain määrin liukenevien PAH-yhdisteiden tai niiden muuntumistuotteiden kulkeutuminen Pursialan vedenottamolle. PAH-yhdisteiden arvioitiin myös todennäköisesti heikentävän maaperän eliöstön elinmahdollisuuksia paikoittain.

Merkityksellinen terveysriski arvioitiin muodostuvan suoran kosketuksen kautta. Pieni terveysriski muodostuu haitta-aineiden pääsemisestä liikerakennuksen sisäilmaan ja sitä kautta työntekijöiden ja asiakkaiden hengitysteihin.

Altistuksen estäminen ja kunnostustavoitteet

Kunnostussuunnitelmassa kunnostuksen yleisiksi tavoitteiksi esitettiin seuraavia:

1. Vähentää pilaantuneisuuden leviämistä pohjaveden mukana ja turvata vedenotamon raakaveden laatu
2. Vähentää kreosootin määrää maaperässä ja pohjavedessä
3. Estää suoran kosketuksen kautta tapahtuva altistuminen pintamaakerroksissa oleviin haitta-aineisiin
4. Poistaa tai vähentää kreosootin haihtuvien komponenttien aiheuttama altistuminen alueella

Päätöksessä huomioidaan, että kaiken maaperässä ja pohjavedessä olevan kreosootin poistaminen ei ole mahdollista ja tavoitteet voidaan saavuttaa, kun:

- a. Kreosootin vesiliukoisempien komponenttien kulkeutuminen vedenottamolle pidetään niin pienenä, että vettä voidaan käyttää turvallisesti talousvetenä kaikissa tilanteissa (raskaimmat komponentit eivät kulkeudu)
- b. Alueelta poistetaan riittävästi kreosootia, jotta kunnostus saadaan päätökseen järkevässä ajassa, eikä jatkuvia kustannuksia muodostu pitkällä aikavälillä
- c. Kyllästämöalueen pintamaat puhdistetaan siten, että maa-aluetta voidaan käyttää asemakaavan mukaisella tavalla.

Etelä-Savon ympäristökeskus asetti päätöksessään (ESA-2007-Y-18-111) kunnostusvoitteiksi valtioneuvoston asetuksessa (214/2007) asetetut alemmat ohjearvotasot. Pilaantunut väkevä pohjavesi ja kreosoottifaasi määrättiin puhdistettavaksi siten, että kreosoottifaasi saadaan mahdollisimman tarkkaan pois pohjavedestä.

Kunnostusmenetelmät

Kunnostusmenetelmien valinnassa noudatettiin BAT-periaatetta. Kohteessa kokeiltiin vuosina 2005-2006 kolmea kunnostusmenetelmää ja kokeilujen perusteella tehtiin lo-pullinen kunnostussuunnitelma.

Biowall-rakenteen periaatteena on, että pohjaveden luonnollista virtaussuuntaa vastaan kohtisuoraan asennetaan aerobisena bioreaktorina toimiva vyöhyke, jolla ohivirtaavaan pohjaveteen syötetään ravinneliuosta ja sitä hapetetaan. Tavoitteena on saavuttaa orgaanisten haitta-aineiden täydellinen biohajoaminen. Vaikka pohjaveden haitta-ainepitoisuuksien havaittiin pienenevän rakenteen kohdalla, Biowall-rakenteen toiminnasta kohteessa ei saatu selkeitä ja johdonmukaisia tuloksia. Mahdollisia syitä arveltiin olevan:

- rakenne asennettiin liian kauas pilaantuneisuuden lähteestä, joten haitta-ainepitoisuudet sen kohdalla olivat liian pieniä ja mikrobeille liian vähän ravintoa
- alueen olosuhteet olivat heikot mikrobien toiminnalle
- pohjaveden virtausolosuhteet eivät vastanneet ennako-odotuksia
- Biowall –koetoimintakenttä oli liian pienikokoinen.

Toinen testattu menetelmä oli pohjaveden pumppaus ja käsittely. Koepumppaus suoritettiin kahdesta päästöalueella sijaitsevasta pohjavesiputkesta kokeillen samalla kahta suodatinmateriaalia. Menetelmään liittyi olennaisena osana pohjavesien liikkeen mallintaminen. Suodatuskokeissa havaittiin, että erityisesti raskaammille PAH-yhdisteille menetelmä on tehokas.

Kolmas kokeiltu menetelmä oli sähköosmoottisella pumppauksella tehostettu biologinen in situ –käsittely. Laboratoriotulosten perusteella todettiin, että alueen maaperässä esiintyy luontaisesti kreosoottia hajottavia mikrobeja. Kenttäkokeet tukivat tätä toteamusta, vaikka kentältä saadut tulokset eivät olleetkaan johdonmukaisia. Tämän arveltiin johtuvan siitä, että kenttäolosuhteissa maaperän ominaisuudet ja haitta-aineet vaihtelevat hyvinkin paljon pienessä mittakaavassa. Heterogeenisuus vaikeuttaakin kyseisen menetelmän käyttöä pohjaveden yläpuolisessa maassa. Menetelmä arvioitiin mahdollisesti toimivaksi pohjavedenpinnan alapuolisessa kerroksessa, mutta optimiolosuhteiden saavuttaminen kyseisessä kerroksessa olisi ollut vaikeaa. Biologinen menetelmä ei sovellu pienille haitta-ainepitoisuuksille ja liian suuret pitoisuudet ovat mikrobeille haitallisia.

Pohjavedenpinnan yläpuolisten massojen kunnostusmenetelmäksi päätettiin valita massanvaihto lajittelevana kaivuna luiskatusta kaivannosta sekä pintaeristys tuleva maankäyttö huomioiden. In situ –menetelmät arvioitiin soveltumattomiksi kunnostusmenetelmiksi, koska ne olisivat vaikeuttaneet alueen käyttöä mahdollisesti jopa vuosikymmeniä. Lisäksi massoja olisi jouduttu kaivamaan rakentamisen vuoksi joka tapauksessa.

Vt5:n ja osittain myös Setrikadun kohdalla massanvaihto arvioitiin erittäin hankalaksi ja kalliiksi kunnostusvaihtoehdoksi, koska tiet olisi jouduttu purkamaan ja rakentamaan niiden tilalle työn ajaksi väliaikaiset reitit. Kunnostusmenetelmäksi näillä alueilla valittiin haitta-aineiden eristäminen paikalleen. Rakenne on suunniteltu toteutettavaksi Vt5:n perusparannuksen yhteydessä tai sen jälkeen, pohjasuojausta vastaavana eristysrakenteena (bentoniittimatto- tai ohutmuovirakenne).

Pohjaveden pinnan alapuolisesta kerroksesta päätettiin poistaa kreosoottifaasi ja voimakkaasti pilaantunut pohjavesi vaiheittaisella pumppauksella. Alueelle asennetaan aluksi 4...5 pohjavesikaivoa, joista jokaisessa on useita pumppausputkia. Putkien siivilä-/imuosat ovat eri tasoilla. Kaivoista pumpataan vuorotellen, siten että yhdestä kaivosta on järkevää pumpata korkeintaan 4...8 tuntia kerrallaan, kunnes pitoisuus laskee niin alas, että puhdistaminen ei ole enää kannattavaa. Yhden vuorokauden aikana ei ole järkevää pumpata yhteensä enempää kuin n. 15 m³. Imukaivoista vesi johdetaan käsittelykonttiin, jossa siitä erotetaan kreosoottifaasi, minkä jälkeen suoritetaan vielä aktiivihiili- tai reaktiivinen suodatus.

Alueen itäreunalle sijoitetaan reaktiivinen seinämä puhdistamaan lievästi pilaantunutta pohjavettä, jota ei ole järkevää kunnostaa pumppauksella. Pohjaveden virtaussuuntaan nähden poikittain asetetaan 10...15 metrin välein ilmastusputkia ja ravinteiden syöttöputkia. Näin alueen luonnollisen hajottajamikrobikannan toiminta tehostuu, mutta pohjaveden luonnollinen virtauskuva muuttuu mahdollisimman vähän. Rakenne sijoitetaan tarpeeksi kauas pilaantuneisuuden lähteestä, jotta haitta-ainepitoisuudet eivät olisi liian korkeita mikrobeille.

Kohteen kunnostus suoritetaan kahdessa vaiheessa. Massanvaihto tehtiin vuonna 2008 ja pohjaveden puhdistuspumppaus suunnitellaan aloitettavaksi vuonna 2009. Lisäksi VT5:n perusparantamisen yhteydessä, aikaisintaan vuonna 2010, sen luiskiin rakennetaan pohjavesisuojausta vastaava erityisrakenne. Bentoniittimatto- tai ohutmuovirakenteena. Massanvaihdon yhteydessä urakka-alueelta poistettiin 80 772,34 t pilaantunutta maata, turvetta ja jätettä. Toisinaan pilaantuneisuuden läikikkäisyys ja juovamaisuus sekä maaperän laatu tekivät eriasteisesti pilaantuneiden massojen lajittelusta kaivuteknisesti mahdotonta.

Alueelle jäi kunnostustavoitteet ylittäviä jäännöspitoisuuksia pohjaveden pinnan tasoon sekä katujen ja rautatien vastaisiin luiskiin, joita ei teiden ja radan vakauden turvaamiseksi voitu kaivaa. Pilaantuneet massat erotettiin puhtaista täyttömaista huomioverkoilla.

VT5:n ja Savonradan väliselle alueelle jäävän pilaantuneisuuden vaikutuksista tehtiin vielä oma riskinarvio. Kohteeseen on suunnitteilla liikeyritys, jonka kellariin tulee pohjaveden pumppauslaitteistoa. Kellaritilan ilmanvaihto on erillään liiketiloista. Riskinarviointi keskittyi siksi liikeyrityksen sisäilmaan haihtuvien pitoisuuksien vaikutukseen liikeyrityksen työntekijöihin. Kriittisiksi haitta-aineiksi valittiin tolueeni, etyylibentseeni, ksyleeni, trimetylibentseeni, styreeni, n-propyylibentseeni, naftaleeni, asenaftaleeni, fluoreeni, pyreeni, kryseeni, isopropyylibentseeni (eli kumeeni) ja butyylibentseeni. Riskinarvioinnissa todettiin, että liikeyrityksen sisäilmaan haihtuvien yhdisteiden pitoisuuksista ei koidu terveysriskiä, ja koska ulkoilman hengitysriski on oleellisesti pienempi, alue voidaan ottaa asemakaavan mukaiseen käyttöön. Mahdollisen hajuhaitan poistamiseksi suositeltiin asentamaan rakennuksen alle radon-putkisto.

6 Johtopäätökset

6.1 Maankäytön vaikutus kunnostustarpeeseen ja tavoitteisiin

Valtioneuvoston PIMA-asetuksessa esitetyt alemmat ohjearvot on määritetty kaikkien altistusreittien aiheuttaman altistuksen summana. Pilaantuneisuutta ja kunnostustarvetta arvioidessa tulisi kuitenkin huomioida entistä paremmin kunnostettavan kohteen ominaisuudet ja siellä olemassa olevat altistusreitit. Kunnostettavan alueen tuleva maankäyttö vaikuttaa merkittävästi altistujiin ja olemassa oleviin altistusreitteihin sekä soveltuviin kunnostusmenetelmiin.

Asuinalueet ovat maankäyttömuotona herkimpiä, koska niillä vietetään eniten aikaa ja haitta-aineille altistuvat myös lapset. Asuinalueella tapahtuva altistus riippuu voimakkaasti myös asuinalueen tyypistä. Koska useille haitta-aineille suurimman altistusriskin aiheuttavat ravintokasveihin kerääntyneet pitoisuudet, alueilla joilla ei suoriteta viljelyä, voisivat turvalliset pitoisuudet olla suurempia.

Virkistysalueilla altistuminen riippuu voimakkaasti virkistysalueen tyypistä. Leikkikentillä maata kaivavat lapset ovat hyvin erilaisessa altistusvaarassa kuin nurmetetuissa puistoissa lenkkeilevät aikuiset. Virkistysalueilla ei säännöllisesti vietetä aikaa sisätiloissa, joten niillä sisäilman hengitys altistusreittinä jää pois. Urheilukentillä maasta voi kuitenkin nousta normaalia enemmän haitta-ainepitoista pölyä, joka pääsee hengitysteiden kautta elimistöön. Usein alueet on kuitenkin päällystetty tai nurmetettu, jolloin altistuminen hengityksen sekä suoran kosketuksen kautta estyy. Virkistysalueilla, joilla pintakerros on puhdas, ainoaksi altistusreitiksi jää haihtuvien yhdisteiden hengittäminen ulkoilmasta, jonka suuruus on yleensä merkityksetön.

Liikennealueilla ei vietetä aikaa säännöllisesti, pintarakenteet estävät suoran kosketuksen haitta-aineisiin eikä niillä viljellä ravintokasveja. Teiden rakentamisen yhteydessä pintakerroksen vaihdetaan aina, jolloin pilaantuneita alueita voi jäädä ainoastaan teiden penkereisiin tai meluvalleihin, jotka nekin yleensä päällystetään puhtailla pintakerroksilla rakentamisen yhteydessä. Altistumisvaarassa ovat ainoastaan kevyen liikenteen käyttäjät. Jos alueen pintakerroksen on vaihdettu puhtaisiin, on altistuminen käytännössä mahdotonta. Haitta-aineiden kulkeutuminen herkemille alueille tai vesistöihin voi kuitenkin aiheuttaa kunnostustarpeen.

Teollisuusalueilla altistusskenaario on hyvin erilainen verrattuna asuinalueisiin. Alueet ovat suljettuja ulkopuolisilta ja altistujina ovat lähinnä aikuisväestön edustajat. Sisätiloissa vietetään vähemmän aikaa kuin asuinalueilla ja maan syöminen mahdollisuuskin on pienempi. Usein myös teollisuusalueet on päällystetty, joten altistus maan syöminen ja pölyämisen kautta on estetty. Teollisuusalueilla on jo aikaisemmin käytetty tavoitepitoisuuksina ylempiä ohjearvoja.

Käytännössä kaikilla rakennettavilla alueilla pintakerrokset vaihdetaan rakentamisen yhteydessä ja altistus maan kosketuksen, syöminen sekä ravintokasvien kautta estyy. Perusteellisempi kunnostaminen on kuitenkin tarpeen, jos on olemassa riski haitta-

aineiden kulkeutumisesta muualle. Usein kunnostusta suoritetaan myös imagollisista syistä ja alueen arvon nostamiseksi.

Taulukossa 3 on esitetty maankäyttömuodoittain merkitykselliset altistusreitit.

Taulukko 3 Maankäyttömuotojen merkitykselliset altistusreitit

	Asuinalue	Virkistysalue	Virkistys- ja liikennealue	Virkistys- ja liikennealue, jolla puhtas pintakerros	Teollisuusalue
Altistusreitit					
Ilma					
Haihtuvien aineiden hengittäminen					
- sisäilma	X				X
Maa/pöly					
-tahaton syönti	X	X	X		X
-ihokosketus	X	X	X		X
Ravinto					
-vihannekset	(X)	(X)			

Poistamalla altistuslaskennalla kunnostettavalla alueella merkityksettömät altistusreitit voidaan laskea kohdekohtaisia enimmäispitoisuuksia maaperässä. Taulukossa 4 on esitetty kappaleen 3 kaavojen ja parametrien avulla lasketut päivittäisaltistukset merkittävimpien altistusreittien kautta lyijylle, PCB-yhdisteille, DDT-DDD-DDE-yhdisteille ja bentseenille, kun haitta-aineen pitoisuus maaperässä vastaa alempaa ohjearvoa. Tämän jälkeen on kokeilemalla etsitty pitoisuus, jossa päivittäissaanti on yhtä suuri kuin haitta-aineen TDI-arvo.

Laskennassa on käytetty oppaassa esitettyjä asuinalueen oletusparametreja (liite 2). Tulokset poikkeavat oppaan arvoista esimerkiksi siksi, että laskennassa ei ole huomioitu kaikkia oppaan arvojen määrittämisessä käytettyjä epävarmuustekijöitä. Tämän vuoksi saadut arvot on vielä normeerattu siten, että normeeratun arvon suhde laskettuun enimmäispitoisuuteen on sama kuin TDI-arvon suhde laskettuun kokonaisaltistukseen. Taulukossa 5 on esitetty haitta-aineiden alempia ohjearvoja vastaavat pitoisuudet, kun altistusreitit suljetaan pois.

Taulukko 4 Päivittäisaltistus haitta-aineille alemmilla ohjearvopitoisuuksilla

	Lyijy	PCB	DDT- DDD- DDE	Bentseeni
Alempi ohjearvo [mg/kg]	200	0,50	1,0	0,20
Ohjearvosta laskettu kokonaisaltistus [µg/vrk] (% TDI-arvosta)	0,24 (13 %)	0,091 (910 %)	0,14 (29 %)	5,1 (160 %)
TDI [µg/vrk]	1,8	0,010	0,50	3,3
Päivittäisaltistus maan nielemisen kautta [µg/vrk] (% kokonaisaltistuksesta)	0,22 (92 %)	0,00055 (0,61 %)	0,0011 (0,77 %)	0,00022 (0,004 %)
Päivittäisaltistus ravintokasvien kautta [µg/vrk] (% kokonaisaltistuksesta)	0,018 (7,4 %)	0,090 (99 %)	0,14 (99,13 %)	0,21 (4,014 %)
Päivittäisaltistus sisäilman hengityksen kautta [µg/vrk] (% kokonaisaltistuksesta)	0 (0 %)	0,00032 (0,36 %)	0,00014 (0,10 %)	5,0 (95,976 %)

Taulukko 5 Haitta-aineiden laskennalliset maksimipitoisuudet maaperässä, kun altistusreittejä on suljettu pois

	Lyijy	PCB	DDT- DDD- DDE	Bentseeni
Alempi ohjearvo [mg/kg]	200	0,50	1,0	0,20
Ohjearvosta laskettu kokonaisaltistus [µg/vrk]	0,24	0,091	0,14	5,1
TDI [µg/vrk]	1,8	0,010	0,50	3,3
Max. pitoisuus, kun maan nieleminen estetty [mg/kg]	18 000	0,055	3,5	0,129
Normeerattu arvo	2 400	0,50	1,0	0,20
Max. Pitoisuus, kun alueella ei viljellä ravinto- kasveja [mg/kg]	1 600	5,7	450	0,133
Normeerattu arvo	220	52	130	0,21
Max.pitoisuus, kun haitta-aineita ei pääse si- säilmaan [mg/kg]	1 500	0,055	3,5	4,04
Normeerattu arvo	200	0,50	1,0	6,3

Lyijyn SHP_{ter}- ja TDI-arvot on määritetty lapsuusaikaisen altistumisen perusteella, joten sen ohjearvo on huomattavasti korkeampi, kuin taulukossa esitetty elinikäisellä altistuksella laskettu haitallinen pitoisuus. Koska metallit eivät kulkeudu huokosilmaan, sisäilman kautta altistuminen on mahdotonta. (Reinikainen, 2007) Lyijylle maapölyn hengityksen kautta altistuminen muodostaa kuitenkin n. 2 % kokonaisaltistuksesta. Laskennallisesti turvalliset pitoisuudet maaperässä, kun altistusreittejä suljetaan nousevat lyijyn kohdalla useampia kymmeniä kertaluokkia.

PCB-yhdisteiden alempi ohjearvo on asetettu korkeammalle kuin sen SHP_{ter}-arvo (0,0634 mg/kg), koska niillä ravintokasvireitin merkitys on 99 % kokonaisaltistuksesta, mikä laskee viitearvojen luotettavuutta huomattavasti. Tämän vuoksi sen laskennallinen

päivittäissaanti pilaantuneisuuden ollessa alemman ohjearvon tasolla ylittää TDI-arvon lähes kymmenkertaisesti. Kuitenkin, kun ravintokasvireitti poistetaan, laskee päivittäisaltistus alle prosenttiin TDI-arvosta. Alueilla, joilla viljellään ravintokasveja, PCB:n turvallinen pitoisuus olisi luvussa 3 esitetyillä kaavoilla laskettuna n. kymmenesosa alemmasta ohjearvosta, mutta kun ravintokasvireitti poistetaan, olisi turvallinen pitoisuus n. kymmenkertainen siihen verrattuna.

DDT-DDD-DDE-yhdisteiden ohjearvot on määritetty ekologisten viitearvojen perusteella, joten ne ovat huomattavasti pienempiä kuin SHP_{ter} -arvo (3,9 mg/kg). Myös päivittäisaltistus pitoisuuksien ollessa alemmalla ohjearvotasolla jää tällöin huomattavasti pienemmäksi kuin TDI-arvo. Näillekin yhdisteille ravintokasvireitti muodostaa lähes 100 % altistuksesta ja kun se poistetaan, terveysperusteisesti haitattomat pitoisuudet maaperässä nousevat korkeiksi.

Bentseenin alempi ohjearvo on asetettu SHP_{ter} -arvon tasolle ja se on huomattavasti pienempi kuin sen SHP_{eko} -arvo (180 mg/kg). Bentseenille altistuminen tapahtuu pääosin sisäilman hengityksen kautta, joten ravintokasvi- ja maan syönti- reittien sulkeminen ei juuri nosta sen haitatonta pitoisuutta maaperässä. Sen sijaan alueilla, joilla ei oleskella sisätiloissa, voisi terveysperusteisesti suurin haitaton pitoisuus olla 20-kertainen alempaan ohjearvoon verrattuna. Tämä alittaa vielä reilusti suurimman ekologisesti haitattoman pitoisuuden.

Tulee kuitenkin huomioida, että pitoisuuksien kasvaessa todella suuriksi, haitta-aineet voivat käyttäytyä eri tavoin, kuin laskelmissa on oletettu. Esimerkiksi niistä voi tulla akuutteja vaikutuksia tai altistusreitit, joita laskelmissa ei ole huomioitu nousevat merkityksellisiksi. Laskelmissa ei myöskään ole huomioitu haitta-aineiden kulkeutumista, joka voi helpottaa pitoisuuksien noustessa.

Useimpien haitta-aineiden viitearvot on määritetty ekologisten riskien perusteella. Kaupunkialueilla kunnostettaessa alueen ekologia on kuitenkin joka tapauksessa häiriintynyt ja haitta-aineiden olemassaolo ei vaikuta kohteen biodiversiteettiin elleivät haitta-aineet pääse kulkeutumaan herkempiin kohteisiin. Tämän vuoksi kohteissa, joiden ekologist arvot häiriintyvät jatkossa joka tapauksessa ei välttämättä ole tarpeen käyttää kunnostustavoitteina ekologisperusteisia viitearvoja, jos ne ovat tiukemmat kuin terveysperusteiset.

6.2 Maankäytön vaikutus kunnostusmenetelmiin

Liitteenä 4 on esitetty kunnostusmenetelmien soveltuvuusmatriisit, joihin on koottu yleisimmät kunnostusmenetelmät ja haitta-aineryhmät. Jokaiselle maankäyttömuodolle on oma taulukkonsa (maankäyttömuodosta riippumaton 4a, asuinalueet 4b, virkistysalueet 4c, liikennealueet 4d ja teollisuusalueet 4e). Menetelmän soveltuvuuden arviointiin on tehty neliportainen luokittelu, jossa:

- ++ tarkoittaa hyvää soveltuvuutta
- + tarkoittaa soveltuvuutta tietyin rajoituksin
- - tarkoittaa soveltuvuutta erikoistapauksissa
- -- tarkoittaa soveltumattomuutta

Menetelmien soveltuvuutta rajoittaviksi tekijöiksi on arvioitu niiden teho haitta-aineisiin, maaperäolosuhteiden vaikutus, maankäyttömuotojen erityisominaisuudet ja kunnostuksen kesto. Kustannuksia ei ole huomioitu soveltuvuusarvioinnissa.

Hyvin soveltuvassa tilanteessa kunnostusmenetelmän käyttöä eivät mitenkään rajoita kohteen haitta-aineiden tai maaperän ominaisuudet eikä maankäyttö. Soveltuvuutta rajoittavat tekijät voivat olla esimerkiksi liian tiivis maaperä (rajoittaa huokoskaasumenetelmän käyttöä) tai kunnostusmenetelmälle liian korkeat pitoisuudet (jotkut yhdisteet saattavat liian korkeina pitoisuuksina olla toksisia biohajoamiseen tarvittaville mikrobeille). Täysin soveltumattomat kunnostusmenetelmät eivät vaikuta ko. haitta-aineiden pitoisuuksiin maaperässä missään tilanteessa (esim. huokoskaasukäsittely kulkeutumattomiin haitta-aineisiin).

Haitta-aineet on matriisissa jaoteltu samoihin ryhmiin kuin PIMA-asetuksessa, lukuun ottamatta öljyhiilivetyjen kevyimpiä jakeita (C5-C10), jotka on siirretty samaan ryhmään aromaattisten hiilivetyjen kanssa niiden samanlaisten ominaisuuksien vuoksi. Matriisista on jätetty pois syanidi ja klooribentseenit niiden harvinaisuuden ja huonon tunnettavuuden vuoksi. Kunnostusmenetelmien soveltuvuuteen vaikuttavat mm. seuraavat tekijät:

- Massanvaihto soveltuu periaatteessa kaikille haitta-aineille kaikissa kohteissa. Epäherkillä alueilla neitseellisten massojen käyttö täyttöön ei kuitenkaan aina ole järkevää, joten teollisuus- ja työpaikka-alueilla massanvaihdon soveltuvuus on arvioitu alhaisemmaksi muihin maankäyttömuotoihin nähden.
- Eristäminen sopii kulkeutumattomille haitta-aineille. Sen soveltuvuutta asuin-alueilla rajoittavat lähinnä mielikuvatekijät ja maan arvon lasku.
- Fytoremediaation soveltuvuutta liikenne- sekä teollisuus- ja työpaikka-alueille rajoittaa harva kasvillisuus. Molemmat ovat yleensä asfalttipäällysteisiä. Kohteissa voi kuitenkin olla pieniä viheralueita, joilla fytoremediaatiota voidaan käyttää.
- Reaktiiviset seinämät toimivat vain pohjavedenpinnan alapuolisissa maakerroksissa. Lisäksi se poistaa haitta-aineita kohteesta hitaasti luonnollisen pohjavesivirtauksen mukana, jolloin se soveltuu vain tiettyihin hydrogeologisiin olosuhteisiin.
- Monitoroitu luontainen puhdistuminen soveltuu huonommin hyvin pienille ja hyvin suurille pitoisuuksille, sillä sen teho pieniin pitoisuuksiin on heikko ja suuret pitoisuudet voivat olla vahingollisia maaperän eliöstölle. Lisäksi se poistaa haitta-aineita maaperästä hitaasti ja soveltuu vain kohteisiin, joissa maaperän luontainen eliöstö pystyy käsittelemään kohteessa olevia haitta-aineita.

Useiden menetelmien soveltuvuutta asuinalueilla huonontaa niiden pitkä kesto, joten harvat menetelmät soveltuvat hyvin asuinalueiden kunnostukseen. Myös eristämisen soveltuvuus on hieman rajoitettu asuinalueilla. Lisäksi asuinalueita on monen tyyppisiä ja kunnostusmenetelmien soveltuvuus voi vaihdella tyyppien välillä. Esimerkiksi pien-taloaluetta kunnostaessa tulee huomioida ravintokasvien viljelyn mahdollisuus.

Virkistys- ja liikennealueiden matriisit ovat fytoremediaation soveltuvuutta lukuun ottamatta täysin samanlaiset. Tämä ei yllätä, sillä maankäytöt ovat muutenkin käytöltään melko samanlaisia, niillä vietetään vähän aikaa ja niillä on vähän tilaa vieviä rakennelmia.

Teollisuus- ja työpaikka-alueiden matriisi poikkeaa liikennealueista vain massanvaihdon osalta.

6.3 Kaavoituksen suhde pilaantuneisiin maa-alueisiin

Kaavoituksella voidaan suuressa mittakaavassa vaikuttaa kunnostuskustannuksiin. Yksinkertaisimmillaan esimerkiksi vaihtamalla leikkipuiston ja pysäköintialueen paikkaa tai rakentamalla pientalojen sijaan kerrostaloja voidaan välttää ylimääräisiä kunnostustöitä. Lisäksi kaavassa määrätään rakentamisen korkeusasemat, joita asetettaessa voidaan huomioida eristämisen vaatimat rakennekerrokset.

Koska vähemmän herkässä maankäytössä viitearvot on asetettu korkeammalle ja altistusta tapahtuu vähemmän, voidaan yhtenä kunnostusmenetelmänä pitää maankäytön rajoittamista. Jos pilaantuneet alueet huomioitaisiin kaavoitusvaiheessa paremmin ja niille kaavoitettaisiin toimintoja, jotka eivät vaadi maaperän kunnostamista tai joille voidaan hyväksyä korkeammat tavoitepitoisuudet, voitaisiin säästää huomattavasti kunnostuskustannuksissa. Alueet, joille jää pilaantuneisuutta tulee merkitä sekä maastoon että kaavaan.

Maankäytön suunnittelun sekä pilaantuneisuuden ja kunnostustarpeen arvioinnin tehokkaammalla yhteensovittamisella voitaisiin saavuttaa huomattavia taloudellisia ja ekologisia säästöjä. Kunnollisella ennakkoinnilla voitaisiin kiinnittää nykyistä enemmän huomiota parhaan käyttökelpoisen tekniikan periaatteen soveltamiseen kunnostusmenetelmiä valittaessa. Lisäksi kehittämisvaiheessa oleville kunnostusmenetelmille voitaisiin etsiä sopivia pilottikohteita.

Lähdeluettelo

Kirjallisuus

Brand, E., Otte, P.F., Lijzen, J.P.A. CSOIL 2000: an exposure model for human risk assessment of soil contamination, A model description. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven, 2007. 90 s. RIVM report no. 711701054/2007.

Carlton, C. (Ed.) Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization. European Commission. Joint Research Centre, Ispra, 2007. 306 s. ISBN 978-92-79-05238-5.

Jaakkonen, Satu (Suomen Ympäristökeskus). Kaivettujen pilaantuneiden maainesten käsittely Suomessa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 36/2008. www.ymparisto.fi/julkaisut. 48 s. ISBN 978-952-11-3334-3.

Jeltsch, Ulrich. Saastuneiden maa-alueiden kunnostus. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 44. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki, 1990. 175 s. ISBN 951-47-3319-3.

Mroueh, U-M., Vahanne, P., Eskola, P., Pasanen, A., Wahlström, M., Mäkelä, E. & Laaksonen, R. Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta. VTT tiedotteita. Dark, Oy, Vantaa, 2004. 317 + 44 s. ISBN 951-38-6468-5.

Otte, P.F., Lijzen, J.P.A., Otte, J.G., Swartjes, F.A., & Versluijs, C.W. Evaluation and revision of the CSOIL parameter set. Proposed parameter set for human exposure modelling and deriving Intervention Values for the first series of compounds. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven, 2001. 125 s. RIVM report no. 711 701 021.

Pellinen, J., Sorvari, J. & Soimasuo, M. Pilaantuneen maaperän ekologinen riskinarviointi. Ympäristöopas 1 2007. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala, 2007. 116 s. ISBN 978-952-11-2718-2.

Penttinen, Riina. Maaperän ja pohjaveden kunnostus. Yleisimpien menetelmien esittely. Suomen Ympäristökeskus, Helsinki, 2001. Oy Edita Ab, Helsinki, 2001. 49 s. ISBN 952-11-0943-2.

Reinikainen, Jussi. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäysperusteet. Suomen ympäristö 23 1 2007. Edita Prima Oy, Helsinki, 2007. 164 s. ISBN 978-952-11-2731-1.

Reinikainen Jussi. Reaktiiviset seinämät pilaantuneen pohjaveden käsittelyssä. Suomen ympäristö 628. Edita Prima Oy, Helsinki, 2008. 46 s. ISBN 952-11-1414-2.

Rikken, M.G.J., Lijzen, J.P.A., Cornelese, A.A. Evaluation of model concepts on human exposure. Proposals for updating the most relevant exposure routes of CSOIL. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven, 2001. 138 s. RIVM report no. 711 701 022.

Sarkkila, J. Mroueh, U-M. ja Leino-Forsman, H. Pilaantuneen maan kunnostaminen ja laadunvarmistus. Ympäristöopas 110. Edita Prima Oy, Helsinki, 2004. 134 s. ISBN 952-11-1600-5.

Sorvari, J. ja Antikainen, R. Katsaus pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnan nykykäytäntöihin. Suomen ympäristökeskuksen moniste 316. Helsinki, 2004. www.ymparisto.fi/syke. 83 s. ISBN 852-11-1909-8.

Sosiaali- ja terveysministeriö. HTP-arvot 2007. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2007:4. Yliopistopaino, Helsinki, 2007. 67 s. ISBN 978-952-00-2308-9.

Tuomi, P. ja Vaajasaari, K. Monitoroidun luontaisen puhdistumisen (MLP) käyttö pilaantuneiden alueiden kunnostuksessa. Suomen ympäristö 681. Edita Prima Oy, Helsinki, 2004. 57 s. ISBN 952-11-1637-4.

United States Environmental Protection Agency (US EPA). Introduction to Phytoremediation. Cincinnati, Ohio, 2000. 104 s. EPA/600/R-99/107.

United States Environmental Protection Agency (US EPA). Permeable Reactive Barrier Technologies for Contaminant Remediation. 1998. 102 s. EPA/600/R-98/125.

Vallinkoski V-M., Hassinen V. ja Servomaa, K. Hybridihaapa metalleilla pilaantuneen alueen kasvikkunnostuksessa. Pohjois-Savon ympäristökeskuksen raportteja 2 | 2007. Kainuun Sanomat Oy, Kajaani, 2007. 42 s. ISBN 978-952-11-2660-4.

Ympäristöministeriö. Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa. Saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostusprojekti; loppuraportti. Painatuskeskus Oy, Helsinki, 1994. 218 s. ISBN 951-47-4823-9.

Ympäristöministeriö. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi. Ympäristöhallinnon ohjeita 2 | 2007. Edita Prima Oy, Helsinki, 2007. 210 s. ISBN 978-952-11-2725-0.

Ympäristöministeriö. Kohti kierrätysyhteiskuntaa. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. Suomen ympäristö 32 | 2008. 58 s. Edita Prima Oy, Helsinki, 2008. ISBN 978-952-11-3216-2.

Lainsäädäntö

Valtion säädöstietopankki <www.finlex.fi>

Jätelaki (1072/1993)

Maankäyttö ja rakennuslaki (132/1999)

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamisesta (202/2006)

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007)

Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (861/1997)

Ympäristöministeriön asetus yleisimpien jätteiden sekä ongelmajätteiden luettelosta (1129/2001)

Ympäristönsuojelulaki (86/2000)

Euroopan unionin säädöstietokanta <eur-lex.europa.eu>

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus pysyvistä orgaanisista yhdisteistä sekä direktiivin 79/117/ETY muuttamisesta (850/2004/EY)

Maaperän suojelun puitedirektiiviehdotus (COM(2006) 2003)

Ympäristövastuudirektiivi (2004/35/EY)

Verkkolähteet

Ekokem-Palvelu Oy, Pilaantuneen maan kunnostus
<http://www.ekokem.fi/portal/fi/palvelut/maa-_ja_pohjarakentamisen_palvelut/pilantuneen_maaperan_kunnostus/> (luettu 14.9.2009, päivitetty 2008)

Euroopan komissio, <ec.europa.eu/environment/soil> (luettu 24.6.2009, päivitetty 5.3.2009)

Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR), <www.frtr.gov> (luettu 14.9.2009, päivitetty 2007)

Helsingin kaupunki, ympäristökeskus,
<http://www.hel.fi/wps/portal/Ymparistokeskus/Artikkeli?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/ymk/fi/Ymp_ri_n+tila/Maaper_/Kunnostukset+Helsingiss_> (luettu 29.9.2009, päivitetty 14.4.2009)

Caset

Eiranranta, Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen päätös Ymk 2009-1434

Kehä III, Uudenmaan ympäristökeskuksen päätös YS 504/2009

Mikkelin entinen kyllästämö, Etelä-Savon ympäristökeskuksen päätös ESA-2007-Y-18-111

Tervasaaren entinen saha, Kaakkois-Suomen ympäristökeskuksen päätös KAS-2006-Y-113-111

Vantaco Oy, Säiliöalueen maaperän huokoskaasupuhdistus, Uudenmaan ympäristökeskuksen päätös No YS 1211/2006

	Luontainen pitoisuus	Kynnysarvo	Alempi ohjearvo	Ylempi ohjearvo	Ongelmajäte raja-arvo	Neuvoston astuksessa 850/2004 asetetut raja-arvot POP-yhdisteille	Kaatopaikkakelpoisuuskriteerit (liukoisuus)		
Haitta-aineet		[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	Pysyvän jätteen kaatopaikka	Tavanomaisen jätteen kaatopaikka	Ongelmajätteen kaatopaikka
							[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
Alkuaineet									
Antimoni	0,02	2	10	50	2500				
Arseeni	1	5	50	100	1000		0,5	2	25
Barium							20	100	300
Elohopea, epäorgaaninen									
Elohopea, orgaaninen	0,005	0,5	2	5	1000		0,01	0,2	2
Kadmium	0,03	1	10	20	100		0,04	1	5
Koboltti	8	20	100	250	1000				
Kromi (Cr ³⁺)					-				
Kromi (Cr ⁶⁺)	31	100	200	300	1000		0,5	10	70
Kupari	22	100	150	200	2500		2	50	100
Lyijy	5	60	200	750	2500		0,5	10	50
Molybdeeni					-		0,5	10	30
Nikkeli	17	50	100	150	1000		0,4	10	40
Seleen					-		0,1	0,5	7
Sinkki	31	200	250	400	2500		4	50	200
Vanadiini	38	100	150	250	10000				
Muut epäorgaaniset aineet									
Syanidi		1	10	50	1000				
Aromaattiset hiilivedyt									
Bentseeni		0,02	0,2	1	1000				
Tolueeni			5	25	10000				
Etyylibentseeni			10	50	-				
Ksyleenit			10	50	125000				
TEX yhteensä		1							
BTEX							6		
PAH-yhdisteet									
Antraseeni		1	5	15	1000				
Bentso(a)antraseeni		1	5	15	1000				
Bentso(a)pyreeni		0,2	2	15	100				
Bentso(k)fluoranteeni		1	5	15	1000				
Fenantreeni		1	5	15	1000				
Fluoranteeni		1	5	15	1000				
Naftaleeni		1	5	15	2500				
PAH-yhteensä		15	30	100	1000		40		
Polyklooratut bifenyylit									
PCB		0,1	0,5	5	50	50	1		
PCDD-PCDF-PCB		0,00001	0,0001	0,0015	0,015	0,015			
Klooratut alifaattiset hiilivedyt									
Dikloorimetaani (Metyleenikloridi)		0,01	1	5	10000				
Vinyylikloridi (Kloorieteeni)		0,01	0,01	0,01	1000				
Dikloorieteenit		0,01	0,05	0,2	10000				
Trikloorieteeni		0,01	1	5	1000				
Tetrakloorieteeni		0,01	0,5	2	10000				
Klooribentseenit									
Triklooribentseenit		0,1	5	20	2500				
Tetraklooribentseenit		0,1	1	5	-				
Pentaklooribentseeni		0,1	1	5	2500				
Heksaklooribentseeni		0,01	0,05	2	1000	50			
Kloorifenolit									
Monokloorifenolit		0,5	5	10	25000				
Dikloorifenolit		0,5	5	40	25000				
Trikloorifenolit		0,5	10	40	2500				
Tetrakloorifenolit		0,5	10	40	2500				
Pentakloorifenolit		0,5	10	20	1000				
Torjunta-aineet ja biosidit									
Atratsiini		0,05	1	2	2500				
DDT-DDD-DDE		0,1	1	2	50	50			
Dieldriini		0,05	1	2	50	50			
Endosulfaani		0,1	1	2					
Heptakloori		0,01	0,2	1	50	50			
Lindaani		0,01	0,2	2	250				
TBT									
TPT		0,1	1	2	2500				
Kvintotseeni									
Öljyhiilivetyjakeet ja oksygenaatit									
MTBE		0,1							
TAME			5	50	-				
Bensiinijakeet (C5-C10)			100	500					
Keskittisleet (C11-C21)			300	1000					
Raskaat Öljyjakeet (C22-C40)			600	2000					
Öljyjakeet (C10-C40)		300			10000		500		

Haitta-aineet	M [g/mol]	S [mg/l]	Vesiliukoisuus	V _s [Pa]	Haihtuvuus	K _f [l/kg]	K _{oc} [l/kg]	Kulkeutuminen (K _f /K _{oc})
Alkuaineet								
Antimoni	1,22E+02					85		Kulkeutumaton
Arseni	7,49E+01					980		Kulkeutumaton
Barium	1,37E+02					60		Heikosti kulkeutuva
Elohopea, epäorgaaninen								
Elohopea, orgaaninen	2,01E+02					3300		Kulkeutumaton
Kadmium	1,12E+02					190		Kulkeutumaton
Koboltti	5,89E+01					120		Kulkeutumaton
Kromi (Cr ³⁺)								
Kromi (Cr ⁶⁺)	5,20E+01					14400		Kulkeutumaton
Kupari	6,35E+01					540		Kulkeutumaton
Lyijy	2,07E+02					2380		Kulkeutumaton
Molybdeeni	9,59E+01					20		Hieman kulkeutuva
Nikkeli	5,87E+01					560		Kulkeutumaton
Selene	7,90E+01					20		Hieman kulkeutuva
Sinkki	6,54E+01					250		Kulkeutumaton
Vanadiini	5,09E+01					309		Kulkeutumaton
Muut epäorgaaniset aineet								
Syanidi								
Aromaattiset hiilivedyt								
Bentseeni	7,81E+01	1,99E+03	Hyvin liukeneva	9,51E+03	Erittäin haihtuva	0,74	74,13	Erittäin/hiemosti kulkeutuva
Toluenei	9,21E+01	6,11E+02	Liukeneva	2,96E+03	Erittäin haihtuva	1,20	123,03	Heikosti kulkeutuva
Etyylibentseeni	1,06E+02	1,59E+02	Liukeneva	9,53E+02	Erittäin haihtuva	3,40	338,84	Kohtalaisen/Erittäin kulkeutuva
Ksyleeni	1,06E+02	2,09E+02	Liukeneva	7,76E+02	Erittäin haihtuva	2,60	257,04	Kohtalaisen kulkeutuva
TEX yhteensä								
BTEX								
PAH-yhdisteet								
Antraseni	1,78E+02	7,13E-02	Hyvin niukkaluokoinen	9,31E-04	Hyvin heikosti haihtuva	199,00	19952,62	Kulkeutumaton
Bentso(a)antراسeni	2,28E+02	1,16E-02	Hyvin niukkaluokoinen	2,07E-07	Hyvin heikosti haihtuva	6170,00	346736,85	Kulkeutumaton
Bentso(a)pyreeni	2,52E+02	8,42E-04	Hyvin niukkaluokoinen	1,25E-07	Hyvin heikosti haihtuva	6600,00	660693,45	Kulkeutumaton
Bentso(k)fluoranteeni	2,52E+02	4,84E-04	Hyvin niukkaluokoinen	1,24E-08	Hyvin heikosti haihtuva	17400,00	1737900,83	Kulkeutumaton
Fenantreeni	1,78E+02	8,50E-01	Niukkaluokoinen	1,51E-02	Heikosti haihtuva	170,00	16982,44	Kulkeutumaton
Fluoranteeni	2,02E+02	2,01E-01	Niukkaluokoinen	3,80E-03	Heikosti haihtuva	1510,00	151356,12	Kulkeutumaton
Naftaleeni	1,28E+02	3,18E+01	Liukeneva	6,83E+00	Haihtuva	9,60	954,99	Hieman kulkeutuva
PAH-yhteensä								
Polyklooratut bifenyylit								
PCB	3,28E+02	6,30E-03	Hyvin niukkaluokoinen	5,20E-04	Hyvin heikosti haihtuva	3160,00	316228	Kulkeutumaton
PCDD-PCDF-PCB	3,22E+02	3,00E-04	Hyvin niukkaluokoinen	1,40E-06	Hyvin heikosti haihtuva	4070,00	407380	Kulkeutumaton
Klooratut alifaattiset hiilivedyt								
Dikloorimetaani (Metyleenikloridi)	8,49E+01	1,80E+04	Hyvin liukeneva	4,30E+04	Erittäin haihtuva	0,17	16,60	Erittäin kulkeutuva
Vinyylkloridi (Kloorieteeni)	6,25E+01	4,28E+02	Liukeneva	2,98E+05	Erittäin haihtuva	0,36	36,31	Erittäin kulkeutuva
Dikloorieteenit	9,70E+01	7,76E+02	Liukeneva	1,55E+04	Erittäin haihtuva	0,66	66,07	Erittäin/hiemosti kulkeutuva
Trikloorieteeni	1,31E+02	1,16E+03	Hyvin liukeneva	5,81E+03	Erittäin haihtuva	1,15	114,82	Heikosti kulkeutuva
Tetrakloorieteeni	1,66E+02	1,19E+02	Liukeneva	1,57E+03	Erittäin haihtuva	2,60	263,03	Kohtalaisen kulkeutuva
Klooribentseenit								
Triklooribentseenit	1,81E+02	1,23E+01	Liukeneva	6,55E+01	Haihtuva	30,00	3019,95	Hieman kulkeutuva/Kulkeutumaton
Tetraklooribentseenit	2,16E+02	1,82E+02	Liukeneva	1,52E+02	Erittäin haihtuva	56,00	3019,95	Heikosti kulkeutuva/Kulkeutumaton
Pentaklooribentseeni	2,50E+02	3,23E-01	Niukkaluokoinen	4,52E-01	Kohtalaisen haihtuva	83,00	8317,64	Kulkeutumaton
Heksaklooribentseeni	2,85E+02	1,17E-02	Hyvin niukkaluokoinen	6,13E-04	Hyvin heikosti haihtuva	115,00	11481,54	Kulkeutumaton
Kloorifenolit								
Monokloorifenolit	1,29E+02	8,11E+03	Hyvin liukeneva	3,66E+02	Erittäin haihtuva	1,40	138,04	Heikosti kulkeutuva
Dikloorifenolit	1,63E+02	2,79E+02	Liukeneva	4,01E+00	Haihtuva	4,30	426,58	Kohtalaisen kulkeutuva
Trikloorifenolit	1,98E+02	1,24E+02	Liukeneva	4,30E-01	Kohtalaisen haihtuva	20,00	2041,74	Hieman/Heikosti kulkeutuva
Tetrakloorifenolit	2,32E+02	6,33E+00	Niukkaluokoinen	4,54E-02	Heikosti haihtuva	20,00	2630,27	Hieman/Heikosti kulkeutuva
Pentakloorifenolit	2,66E+02	4,28E+00	Niukkaluokoinen	8,53E-03	Heikosti haihtuva	6,60	1584,89	Kohtalaisen/hieman kulkeutuva
Torjunta-aineet ja biosidit								
Atrasiini	2,16E+02	3,81E+01	Liukeneva	2,70E-05	Hyvin heikosti haihtuva	1,60	158,49	Heikosti/kohtalaisen kulkeutuva
DDT-DDD-DDE	3,55E+02	6,48E-03	Hyvin niukkaluokoinen	1,22E-05	Hyvin heikosti haihtuva	2340,00	380189,40	Kulkeutumaton
Dieldriini	3,81E+02	2,99E-01	Niukkaluokoinen	2,94E-05	Hyvin heikosti haihtuva	98,00	9772,37	Kulkeutumaton
Endosulfaani	4,07E+02	2,80E-01	Niukkaluokoinen	7,49E-04	Hyvin heikosti haihtuva	13,00	1288,25	Hieman kulkeutuva
Heptakloori	3,73E+02	7,00E-01	Niukkaluokoinen	3,97E-02	Heikosti haihtuva	350,00	28183,83	Kulkeutumaton
Lindaani	2,91E+02	5,81E+01	Liukeneva	1,23E-03	Heikosti haihtuva	9,80	977,24	Hieman kulkeutuva
TBT	2,90E+02	7,50E-01	Niukkaluokoinen	9,07E-05	Hyvin heikosti haihtuva	126,00	12589,25	Kulkeutumaton
TPT	3,50E+02	5,00E+00	Niukkaluokoinen	1,71E-04	Hyvin heikosti haihtuva	219,00	21877,62	Kulkeutumaton
Kvintotseeni								
Öljyhiilivetyjakeet ja oksygenaattit								
MTBE	8,82E+01	2,89E+04	Hyvin liukeneva	1,76E+04	Erittäin haihtuva	0,13	13,49	Erittäin kulkeutuva
Alifaattiset öljyfraktiot								
EC5-EC6	8,10E+01	2,80E+01	Liukeneva	5,00E+04	Erittäin haihtuva		18,2	Erittäin kulkeutuva
>EC6-EC8	1,00E+02	4,20E+00	Niukkaluokoinen	8,61E+03	Erittäin haihtuva		36,6	Erittäin kulkeutuva
>EC8-EC10	1,30E+02	3,25E-01	Niukkaluokoinen	8,21E+02	Erittäin haihtuva		90,0	Heikosti kulkeutuva
>EC10-EC12	1,60E+02	2,61E-02	Hyvin niukkaluokoinen	7,90E+01	Haihtuva		221,4	Kohtalaisen kulkeutuva
>EC12-EC16 ⁽¹⁾								
>EC12-EC16 ⁽²⁾	2,00E+02	5,90E-04	Hyvin niukkaluokoinen	3,55E+00	Haihtuva		812,4	Hieman kulkeutuva
>EC16-EC35 ⁽¹⁾								
>EC16-EC35 ⁽²⁾	2,70E+02	9,99E-07	Hyvin niukkaluokoinen	1,72E-01	Kohtalaisen haihtuva		6634,0	Kulkeutumaton
Aromaattiset öljyfraktiot								
EC5-EC7 ⁽¹⁾	7,80E+01	2,20E+02	Liukeneva	1,11E+04	Erittäin haihtuva		20,1	Erittäin kulkeutuva
>EC7-EC8 ⁽⁴⁾	9,20E+01	1,30E+02	Liukeneva	3,24E+03	Erittäin haihtuva		22,2	Erittäin kulkeutuva
>EC8-EC10	1,20E+02	6,50E+01	Liukeneva	8,21E+02	Erittäin haihtuva		24,5	Erittäin kulkeutuva
>EC10-EC12	1,30E+02	2,50E+01	Liukeneva	7,90E+01	Haihtuva		30,0	Erittäin kulkeutuva
>EC12-EC16	1,50E+02	5,80E+00	Niukkaluokoinen	3,55E+00	Haihtuva		40,4	Erittäin kulkeutuva
>EC16-EC21 ⁽¹⁾								
>EC16-EC21 ^(2,3)	1,90E+01	6,50E-01	Niukkaluokoinen	1,72E-01	Kohtalaisen haihtuva		66,7	Heikosti kulkeutuva
>EC21-EC35 ⁽⁴⁾								
>EC21-EC35 ⁽²⁾	2,40E+02	6,60E-03	Hyvin niukkaluokoinen	1,70E-05	Hyvin heikosti haihtuva		164,0	Kohtalaisen kulkeutuva

M, molekyylipaino [g/mol]
S, vesiliukoisuus [mg/l]
V_s, höyrönpaine [Pa]
K_{oc}, jakaantumiskerron veden ja orgaanisen hiilen välillä [l/kg]

Haitta-aineet	Da [m ² /h]	Dpe [m ² /d]	Dsw [m ² /h]	K _{ow}	BCFr	BCFs
Alkuaaineet						
Antimoni					0,6000	0,9000
Arseni					0,0150	0,0300
Barium					0,0050	0,1000
Elohopea, epäorgaaninen						
Elohopea, orgaaninen					0,0150	0,0300
Kadmium					0,1500	0,7000
Koboltti					0,0150	0,0300
Kromi (Cr ³⁺)						
Kromi (Cr ⁶⁺)					0,0020	0,0200
Kupari					0,1000	0,1000
Lyijy					0,0010	0,0300
Molybdeeni					0,0150	0,3000
Nikkeli					0,0700	0,1000
Seleen					1,0000	1,0000
Sinkki					0,1000	0,4000
Vanadiini					0,3000	0,3000
Muut epäorgaaniset aineet						
Syanidi						
Aromaattiset hiilivedyt						
Bentseeni	0,0295	1,40E-06	3,55E-06	134,90		
Tolueeni	0,0243	1,20E-06	3,27E-06	537,03		
Etyylibentseeni	0,0265	2,10E-06	3,05E-06	1412,54		
Ksyleenit	0,0243	1,60E-06	3,05E-06	1445,44		
TEX yhteensä						
BTEX						
PAH-yhdisteet						
Antraseeni	0,0300	5,00E-07	2,35E-06	28183,83		
Bentso(a)antraseeni	0,0300	2,00E-07	2,08E-06	346736,85		
Bentso(a)pyreeni	0,0300	2,00E-07	1,98E-06	1348962,88		
Bentso(k)fluoranteeni	0,0300	2,00E-07	1,98E-06	1288249,55		
Fenantreeni	0,0300	2,00E-07	2,35E-06	29512,09		
Fluoranteeni	0,0300	2,00E-07	2,21E-06	144543,98		
Naftaleeni	0,0231	5,00E+00	2,77E-06	1995,26		
PAH-yhteensä						
Polyklooratut bifenyylit						
PCB	0,0300	5,00E-07	1,73E-06	8709635,90		
PCDD-PCDF-PCB	0,0175	1,00E-07	1,75E-06	6309573,45		
Klooratut alifaattiset hiilivedyt						
Dikloorimetaani (Metyleenikloridi)	0,0300	5,00E-07	3,41E-06	17,78		
Vinyylikloridi (Kloorieteeni)	0,0300	1,00E-06	3,97E-06	33,11		
Dikloorieteenit	0,0319	4,00E-08	3,19E-06	18,62		
Trikloorieteeni	0,0275	1,60E-06	2,74E-06	407,38		
Tetrakloorieteeni	0,0251	8,00E-07	2,44E-06	2511,89		
Klooribentseenit						
Triklooribentseenit	0,0207	1,00E-06	2,33E-06	13489,63		
Tetraklooribentseenit	0,0300	1,00E-06	2,14E-06	42657,95		
Pentaklooribentseeni	0,0300	1,00E-06	1,98E-06	151356,12		
Heksaklooribentseeni	0,0300	1,00E-06	1,86E-06	537031,80		
Kloorifenolit						
Monokloorifenolit	0,0300	5,00E-09	2,76E-06	218,78		
Dikloorifenolit	0,0300	1,00E-07	2,46E-06	1202,26		
Trikloorifenolit	0,0300	5,00E-07	2,23E-06	5011,87		
Tetrakloorifenolit	0,0300	1,00E-06	2,06E-06	11748,98		
Pentakloorifenolit	0,0300	2,24E-06	1,92E-06	131825,67		
Torjunta-aineet ja biosidit						
Atratsiini	0,0300	2,00E-07	2,14E-06	407,38		
DDT-DDD-DDE	0,0300	5,00E-07	1,67E-06	8128305,16		
Dieldriini	0,0300	5,00E-07	1,61E-06	35481,34		
Endosulfaani	0,0156	5,00E-07	1,56E-06	5370,32		
Heptakloori	0,0163	5,00E-07	1,63E-06	269153,48		
Lindaani	0,0300	5,00E-07	1,84E-06	5248,07		
TBT	0,0184	5,00E-06	1,84E-06	4365,16		
TPT	0,0168	5,00E-07	1,68E-06	1905,46		
Kvintotseeni						
Öljyhiilivetyjakeet ja oksygenaattit						
MTBE	0,0334	1,00E-07	3,34E-06	8,71		
Alifaattiset öljyfraktiot						
ECS-EC6	0,0349		3,49E-06	3311,3		
>EC6-EC8	0,0314		3,14E-06	3981,1		
>EC8-EC10	0,0275		2,75E-06	4897,8		
>EC10-EC12	0,0248		2,48E-06	5754,4		
>EC12-EC16 ⁽¹⁾						
>EC12-EC16 ⁽²⁾	0,0222		2,22E-06	7079,5		
>EC16-EC35 ⁽¹⁾						
>EC16-EC35 ⁽²⁾	0,0191		1,91E-06	9332,5		
Aromaattiset öljyfraktiot						
ECS-EC7 ⁽³⁾	0,0355		3,55E-06	3388,4		
>EC7-EC8 ⁽⁴⁾	0,0327		3,27E-06	3467,4		
>EC8-EC10	0,0286		2,86E-06	3548,1		
>EC10-EC12	0,0275		2,75E-06	3801,9		
>EC12-EC16	0,0256		2,56E-06	4073,8		
>EC16-EC21 ⁽¹⁾						
>EC16-EC21 ^(2,5)	0,0720		7,20E-06	4570,9		
>EC21-EC35 ⁽¹⁾						
>EC21-EC35 ⁽²⁾	0,0203		2,03E-06	5495,4		

Da, diffuusiokerroin ilmassa [m²/h]
Dpe, läpäisevyyskerroin [m²/d]
Dsw, diffuusiokerroin vedessä [m²/d]
K_{ow}, oktanoli-vesi -jakautumiskerroin [-]
BCFr, biokertyvyystekijä maan ja kasvin juuren välillä [mg/kg / mg/l]
BCFs, biokertyvyystekijä maan ja kasvin lehtien ja varren välillä [mg/kg / mg/l]

							Altistusreitien merkitys, % kokonaisaltistuksesta SHP _{terv}					Altistusreitien merkitys, % kokonaisaltistuksesta SHPT _{terv}	
	TDI [µg/kg/vrk]	TCA [µg/m ³]	SVP [mg/kg]	SVP _{sv} [mg/kg]	SHP _{sis} [mg/kg]	SHP _{ter} [mg/kg]	Maan nieleminen %	Kasvien syönti %	Sisäilman hengitys %	SHPT _{sis} [mg/kg]	SHPT _{ter} [mg/kg]	Maan nieleminen %	Sisäilman hengitys %
Aikuisineet													
Antimoni	0,4		0,2	4,25	26	8,8	2,4	97,5	< 1	52	1170	99,4	< 1
Arseeni	1	1	0,9	10	56	424	46,6	53	< 1	250	2920	99,4	< 1
Barium	20	1	180	420	730	6490	2,4	97,5	< 1	1460	> 10000	99,4	< 1
Elohopea, epäorgaaninen			1,9		36					73			
Elohopea, orgaaninen	0,1		0,037	5	3,7	43	46,6	53	< 1	7,4	292	99,4	< 1
Kadmium	0,5		0,79	5	12	25	5,4	94,5	< 1	150	1460	99,4	< 1
Koboltti	1,4	0,5	2,4	4,2	170	592	46,6	53	< 1	250	4100	99,4	< 1
Kromi (Cr ³⁺)													
Kromi (Cr ⁶⁺)	5		0,38	1000	120	3190	70,2	29,2	< 1	210	> 10000	99,4	< 1
Kupari	140	1	3,4	10000	125	> 10000	14,4	85,5	< 1	192	> 10000	99,4	< 1
Lyijy	1,8		55	100	490	212	85,5	14,3	< 1	750	5260	99,4	< 1
Molybdeeni	10	12	39	14	190	1430	15,7	84,1	< 1	270	> 10000	99,4	< 1
Nikkeli	50	0,05	0,26	40	65	1190	17,8	82,1	< 1	120	4960	99,4	< 1
Seleni	5		0,1	2	4,5	75	1,7	98,3	< 1	9	> 10000	99,4	< 1
Sinkki	500		16	3000	210	> 10000	8,6	91,3	< 1	340	> 10000	99,4	< 1
Vanadiini	9		1,1	54	77	436	5,3	94,6	< 1	144	> 10000	99,4	< 1
Muut epäorgaaniset aineet													
Syandi													
Aromaattiset hiilivedyt													
Bentseeni	3,3	20	1,5	0,0074	180	0,2	< 1	3,7	94,9	360	0,96	< 1	99,9
Tolueni	223	400	0,14	8,6	47	6,7	< 1	6,8	91,7	94	28	< 1	99,9
Etyylibentseeni	100	770	6,2	10	400	10	< 1	9,2	88,1	800	54	< 1	99,9
Ksyleeni	150	870	0,13	13	17	18	< 1	14	82,9	34	99	< 1	99,9
TEX yhteensä													
BTEX													
PAH-yhdisteet													
Antraseeni	40		0,039	240	1,6	7160	19,6	44,7	13,1	3,2	10000	61,6	25,7
Bentso(a)antraseeni	0,5		0,025	925	2,5	30	6,6	91,1	< 1	5	1230	82,7	< 1
Bentso(a)pyreeni	0,05		0,052	0,66	7	2,6	5,8	92,3	< 1	14	125	82,7	< 1
Bentso(k)fluoranteeni	0,5		0,38	17	38	340	74,4	7,1	< 1	76	1250	82,9	< 1
Fenantreeni	40		3,3	204	31	3300	8,4	50,1	9,7	62	10000	51,6	37,7
Fluoranteeni	5		1	227	260	450	9,9	82,6	3,3	520	10000	76,4	7,9
Naftaleeni	40		0,12	11	17	66	< 1	66,8	29,1	34	1370	1,1	98,6
PAH-yhteensä			0,2	-	15	-	-	-	-	30	-	-	-
Polyklooratut bifenyylit													
PCB	0,01	0,5	0,18	0,95	14	0,0634	< 1	98,7	< 1	28	193	65,7	20,7
PCDD-PCDF-PCB	0,000002		0,0000026	0,00049	0,091	0,00002	1,1	98,5	< 1	0,18	0,0046	77,5	6,5
Klooratut alifaattiset hiilivedyt													
Dikloorimetaani (Metyleenikloridi)	60	3000	0,018	0,3	3,9	1,4	< 1	3,4	95,9	7,8	6,6	< 1	99,9
Vinyylikloridi (Kloorieteeni)	0,06	0,36	-	0,0018	-	0,000064	< 1	< 1	99,9	-	0,0003	< 1	99,9
Dikloorieteeni	6	30	0,28	0,12	65	0,045	< 1	< 1	99,6	130	0,2	< 1	99,9
Trikloorieteeni	50	200	0,0078	0,11	2,5	1,7	< 1	4	95	5	8,5	< 1	99,9
Tetrakloorieteeni	16	250	0,05	0,26	16	0,4	< 1	4	95,6	32	2	< 1	99,9
Klooribentseenit													
Triklooribentseenit	8	50	0,04	7,3	11	3,7	< 1	30	68,3	22	25	< 1	99,8
Tetraklooribentseenit	0,3		0,022	0,51	2,2	0,37	< 1	75,5	22,4	4,4	7,3	< 1	99
Pentaklooribentseeni	0,8		0,28	2	16	1,56	< 1	79,8	19,4	32	15	< 1	99,2
Heksaklooribentseeni	0,016	0,075	0,024	0,055	2	0,032	< 1	99,1	< 1	4	7,5	15,3	81,5
Kloorifenolit													
Monokloorifenolit	5		0,034	0,21	5,4	6	< 1	56,4	43,4	10,8	64	< 1	99,4
Dikloorifenolit	3		0,053	0,38	22	4,2	< 1	81,6	17,5	44	111	1,3	98,4
Trikloorifenolit	0,9		0,17	2	22	12	1,4	89,1	6,6	44	592	22,3	73,1
Tetrakloorifenolit	30		0,05	2	21,5	170	< 1	79,3	15	43	10000	26,2	68,3
Pentakloorifenolit	3		0,16	0,66	12	12	< 1	49,9	29,8	175	1800	20,1	75,8
Torjunta-aineet ja biosidit													
Atratsiini	5		0,0048	0,0016	0,71	5,4	2,9	94,9	< 1	1,42	10000	76,7	7,5
DDT-DDD-DDE	0,5		0,01	2,3	1	3,9	< 1	98,8	< 1	2	1240	82,3	< 1
Dieldrini	0,1		0,038	0,029	0,22	1,2	1,3	91,4	5,8	0,44	174	32,6	55,9
Endosulfaani	6		0,001	0,013	0,5	390	6,8	33,8	20,9	1	10000	31,6	61,9
Heptakloori	0,0022		0,0007	0,11	0,15	0,16	< 1	80,5	18,2	0,3	3,7	5,8	93
Lindani	0,04		0,001	0,01	1,2	0,049	< 1	80,8	15,6	2,4	3,6	3,1	96,3
TBT	0,3		0,013	1,1	0,56	5,3	1,9	89,7	6,6	1,12	555	60	27,6
TPT	0,3		0,001	2	0,9	14	5,1	81,6	10,4	1,8	338	38,2	53,9
Kvintotseeni	3												
Öljyhiilivetyjakeet ja oksygenaattit													
MTBE	900	3000	2	3,6	34	53	< 1	8,5	91	68	267	< 1	100
TAME													
Bensiinijakeet (C5-C10)													
Keskisizeet (C11-C21)													
Raskaat öljyjakeet (C22-C40)													
Öljyjakeet (C10-C40)													
Alifaattiset öljyfraktiot													
EC5-EC6			0,55	480	16	3,1	< 1	< 1	99,9	32	14	< 1	100
>EC6-EC8	2000	18400	0,54	2400	15	7	< 1	< 1	99,9	30	33	< 1	100
>EC8-EC10			0,49	950	14	1,5	< 1	< 1	99,9	28	6,8	< 1	100
>EC10-EC12			0,91	7500	26	7,6	< 1	< 1	99,9	52	35	< 1	100
>EC12-EC16 ⁽¹⁾							< 1	< 1	99,9		280	< 1	99,9
>EC12-EC16 ⁽²⁾	100	1000	9,9	150000	280	59	27,5	< 1	49,2	560	180000	59,3	10,3
>EC16-EC35 ⁽¹⁾						3900	< 1	< 1	99,7		18000		
>EC16-EC35 ⁽²⁾	2000	-	-	> 1000000	-	> 1000000	78,9	1,3	< 1	-	1000000	70,7	8,1
Aromaattiset öljyfraktiot													
EC5-EC7 ⁽³⁾			1,3	-	39	4,3	< 1	2	97,4	78	18	< 1	100
>EC7-EC8 ⁽⁴⁾	200	400	1,5	-	44	9,2	< 1	3,4	95,8	88	39	< 1	100
>EC8-EC10			1,7	19	49	5,6	< 1	5,1	94	98	28	< 1	99,9
>EC10-EC12			2	30	56	28	< 1	16,7	80,7	112	160	< 1	99,8
>EC12-EC16	40	200	2,4	60	68	140	< 1	45	49,1	136	1400	1,2	98,5
>EC16-EC21 ⁽¹⁾						930	3,4	14,9	69,9		5700		
>EC16-EC21 ^(2,5)			3,1	140	88	4700	17,2	15,0	8,6	176	72000	81,1	1,9
>EC21-EC35 ⁽¹⁾						9000	33,1	< 1	48,8		39000	44,7	46,1
>EC21-EC35 ⁽²⁾	30	-	7	1100	200	18000	64,8	1,3	< 1	400	74000	82,9	< 1

TDI, siedettävä päivittäisaanti painokiloa kohti [µg/kg/vrk]
TCA, siedettävä hengitysilman enimmäispitoisuus [µg/m³]
SVP, suurin vaikutuksen pitoisuus [mg/kg]
SVP_{sv}, suurin vaikutuksen pitoisuus pohjaveden pilaantumisriskille [mg/kg]
SHP, suurin hyväksyttävä pitoisuus [mg/kg]
SHPT, suurin hyväksyttävä pitoisuus teollisuusalueella [mg/kg]

Parametri	Lyhenne	Yksikkö	CSoil-mallin oletusarvo	Oletusarvo asuinalueilla	Oletusarvo teollisuus-alueilla	Maankäyttö vaikuttaa	Kunnostus-toimet vaikuttavat
Maaperäparametrit							
Ilman täyttämä huokostilavuus	Va	-	0,2	0,2	0,2		(X)
Veden täyttämä huokostilavuus	Vw	-	0,3	0,2	0,2		(X)
Maa-aineksen täyttämä huokostilavuus	Vs	-	0,5	0,6	0,6		(X)
Orgaanisen hiilen pitoisuus	foc	-	0,058	0,01	0,01		(X)
Maa-aineksen tiheys	Bulk	kg/l	1,2	1,7	1,7		(X)
pH	pH	-	6	5	5		(X)
Lämpötila	T	K	283	278	278		
Kohdeparametrit							
Pilaantumisen syvyys maanpinnasta	Dp	m	1,25	1,25	1,25		X
Ilmanvaihtuvuus ryömintätilassa	Vv	h ⁻¹	1,1	0,5	0,5		
Sisäilman ja ryömintätilan pitoisuuksien suhde	fbi	-	0,1	0,1	0,1		
Ryömintätilan pituus	Le	m	-	10	10		
Ryömintätilan leveys	Wi	m	-	5	5		
Ryömintätilan korkeus	He	m	0,5	0,5	0,5		
Hiukkaspitoisuus ulkoilmassa	TSPo	mg/m ³	0,07	0,07	0,07		
Hiukkaspitoisuus sisäilmassa	TSPI	mg/m ³	0,0525	0,0525	0,0525		
Maapölyn osuus hiukkasista, sisäilma	frsi	-	0,8	0,8	0,8		
Maapölyn osuus hiukkasista, ulkoilma	frso	-	0,5	0,5	0,5		
Diffuusiorajakerroksenpaksaus	d	m	-	0,005	0,005		
Haihtuvan veden virtaus	Ev	m ³ /m ² ·vrk	-	0,0001	0,0001		
Altistusparametrit							
Kehon paino, aikuinen	Wa	kg	70	70	70		
Kehon paino, lapsi	Wc	kg	15	15	15		
elimistöön imeytyvä osuus	fa	-	1	1	1		
Ruoansulatus:							
Niellyn maan määrä, aikuinen	IDa	mg/vrk	50	50	50		
Niellyn maan määrä, lapsi	IDc	mg/vrk	100	150	-		
Altistustiheys, aikuinen	Tdo	vrk/vuosi	50	255	182	X	
Altistustiheys, lapsi	Tdo	vrk/vuosi	125	255	-		
Pilaantuneella alueella viljeltyjen kasvien osuus kokonaiskulutuksesta	fv	-	0,1	0,1	-	X	X
Juuresten kulutus, aikuinen	Qka	kg	0,122	0,2	-		
Juuresten kulutus, lapsi	Qkc	kg	0,0595	0,1	-		
Vihannesten kulutus, aikuinen	Qba	kg	0,139	0,11	-		
Vihannesten kulutus, lapsi	Qbc	kg	0,0583	0,055	-		
Kasvin juuren kuivapaino	fdwr	kg/kg	0,167	0,167	-		
Kasvin lehtien ja varren kuivapaino	fdws	kg/kg	0,098	0,098	-		
Veden tilavuusosuus kasvin juurissa	Fwater	-	0,833	0,93	-		
Rasvan tilavuusosuus kasvin juurissa	Ffat	-	0,005	0,005	-		
Korjauskerroin kasvirasva vs. oktanoli	b	-	0,8	0,8	-		
Sisä- ja ulkoilman hengitys:							
Hengitystiheys, aikuinen	AVa	m ³ /h	0,833	0,83	0,83		
Hengitystiheys, lapsi	Avc	m ³ /h	0,317	0,32	-		
Oleskeluaika sisätiloissa, aikuinen	tiai	h/vrk	22,86	22,86	5,71	X	
Oleskeluaika sisätiloissa, lapsi	tici	h/vrk	21,14	21,14	-	X	
Oleskeluaika ulkona, aikuinen	toai	h	1,14	1,14	-	X	
Oleskeluaika ulkona, lapsi	toci	h	2,86	2,86	-	X	
Ulkoilman laimentumisnopeus, aikuinen	VFa	m/h	324,6				
Ulkoilman laimentumisnopeus, lapsi	VFc	m/h	161,3				
Aikakorjauskerroin, sisäilma, aikuinen	tfi	-	2,856				
Aikakorjauskerroin, sisäilma, lapsi	tfi	-	1,322				
Aikakorjauskerroin, ulkoilma, aikuinen	tfo	-	0,143				
Aikakorjauskerroin, ulkoilma, lapsi	tfo	-	0,357				
Hengitetyn pölyn määrä, aikuinen	ITSPa	kg/d	8,33E-07			X	X
Hengitetyn pölyn määrä, lapsi	ITSPc	kg/d	3,13E-07			X	X
Pidättymiskerroin keuhkoissa	Fr	-	0,75				

Diffuusiokertoimet

Diffuusiokerroin maaperässä, D_u :

$$D_u = P_a \cdot \frac{D_{sa}}{V_a} + P_w \cdot \frac{D_{sw}}{V_w}$$

P_a = fugasiteettiyhtälöihin perustuva laskennallinen pitoisuusosuus huokosilmassa [-]

D_{sa} = diffuusiokerroin maaperän huokosilmassa [m^2/h]

V_a = ilman täyttämä huokostilavuus maaperässä [-]

P_w = fugasiteettiyhtälöihin perustuva laskennallinen pitoisuusosuus huokosvedessä [-]

D_{sw} = diffuusiokerroin maaperän huokosvedessä [m^2/h]

V_w = veden täyttämä huokostilavuus maaperässä [-]

Diffuusiokerroin maaperän huokosilmassa, D_{sa} :

$$D_{sa} = \frac{V_a^{10/3} \cdot D_a}{(1 - V_s)^2}$$

V_a = ilman täyttämä huokostilavuus maaperässä [-]

D_a = diffuusiokerroin ilmassa (haitta-ainekohtainen) [m^2/h]

V_s = maa-aineksen tilavuusosuus maaperässä [-]

Diffuusiokerroin maaperän huokosvedessä, D_{sw} :

$$D_{sw} = \frac{V_w^{10/3} \cdot D_w}{(1 - V_s)^2}$$

V_w = veden täyttämä huokostilavuus maaperässä [-]

D_w = diffuusiokerroin vedessä (haitta-ainekohtainen) [m^2/h]

V_s = maa-aineksen tilavuusosuus maaperässä [-]

FugasiteettivakiotFugasiteettivakio ilmassa, Z_a :

$$Z_a = \frac{1}{R \cdot T}$$

 R = yleinen kaasuvakio [$8,3144 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{mol} \cdot \text{K}$] T = lämpötila [K]Fugasiteettivakio vedessä, Z_w :

$$Z_w = \frac{S}{V_p \cdot M}$$

 S = vesiliukoisuus (haitta-ainekohtainen) [mg/l] V_p = höyrynpaine (haitta-ainekohtainen) [Pa] M = molekyylipaino (haitta-ainekohtainen) [g/mol]Fugasiteettivakio maa-aineksessa, Z_s :

$$Z_s = \frac{K_d \cdot \text{Bulk} \cdot Z_w}{V_s}$$

 K_d = maa-vesi -jakautumiskerroin (haitta-ainekohtainen) [l/kg](Orgaanisille aineille $K_d = K_{oc} \cdot f_{oc}$) Bulk = maa-aineksen tiheys [kg/l] V_s = maa-aineksen täyttämä huokostilavuus [-]**Pitoisuusosuudet**Pitoisuusosuus huokosilmassa, P_a :

$$P_a = \frac{Z_a \cdot V_a}{Z_a \cdot V_a + Z_w \cdot V_w + Z_s \cdot V_s}$$

 Z_a = fugasiteettivakio ilmassa [$\text{mol}/\text{m}^3 \cdot \text{Pa}$] Z_w = fugasiteettivakio vedessä [$\text{mol}/\text{m}^3 \cdot \text{Pa}$] Z_s = fugasiteettivakio maa-aineksessa [$\text{mol}/\text{m}^3 \cdot \text{Pa}$]Pitoisuusosuus huokosvedessä, P_w :

$$P_w = \frac{Z_w \cdot V_w}{Z_a \cdot V_a + Z_w \cdot V_w + Z_s \cdot V_s}$$

 V_a = ilman täyttämä huokostilavuus [-] V_w = veden täyttämä huokostilavuus [-] V_s = maa-aineksen täyttämä huokostilavuus [-]Pitoisuusosuus maa-aineksessa, P_s :

$$P_s = \frac{Z_s \cdot V_s}{Z_a \cdot V_a + Z_w \cdot V_w + Z_s \cdot V_s}$$

Pitoisuusosuudet metalleille ja puolimetalleille

$$P_w = \frac{V_w}{V_w \cdot K_d \cdot \text{Bulk}}$$

 V_w = veden täyttämä huokostilavuus [-] K_d = maa-vesi -jakautumiskerroin (haitta-ainekohtainen) [l/kg] Bulk = maa-aineksen tiheys [kg/l]

$$P_s = 1 - P_w$$

Kunnostusmenetelmien soveltuvuus haitta-aineille yleensä

Haitta-aineet Kunnostusmenetelmät/pitoisuudet	Metallit ja puolimetallit		Aromaattiset hiilivedyt ja öljyhiilivetyjen bensinijakeet (C ₅ -C ₁₀)		Polyaromaattiset hiilivedyt		PCB- ja PCDD/F-yhdisteet	
	AOA < c < YOA	YOYA < c < OJA	AOA < c < YOA	YOYA < c < OJA	AOA < c < YOA	YOYA < c < OJA	AOA < c < YOA	YOYA < c < OJA
Massanvaihto	++	++	++	++	++	++	++	++
Eristäminen	++	++	--	--	+	+	++	++
Huokoskaasukäsittely	--	--	++	++	-	-	--	--
Fytoremediaatio	+	+	+	+	+	+	-	-
Maan huuhtelu	+	+	+	+	+	+	-	-
Reaktiiviset seinämät	-	-	+	+	+	+	--	--
Monitoroitu luontainen puhdistuminen	--	--	+	++	+	++	--	--

Haitta-aineet Kunnostusmenetelmät/pitoisuudet	Klooratut alifaattiset hiilivedyt		Kloorifenolit		Torjunta-aineet ja biosidit		Öljyhiilivetyjakeet C ₁₀ -C ₄₀ ja oksygenaattit	
	AOA < c < YOA	YOYA < c < OJA	AOA < c < YOA	YOYA < c < OJA	AOA < c < YOA	YOYA < c < OJA	AOA < c < YOA	YOYA < c < OJA
Massanvaihto	++	++	++	++	++	++	++	++
Eristäminen	++	++	+	-	+	+	+	-
Huokoskaasukäsittely	++	++	--	--	-	-	+	+
Fytoremediaatio	+	+	+	+	-	-	+	+
Maan huuhtelu	-	-	+	+	+	+	+	+
Reaktiiviset seinämät	+	+	+	+	--	--	+	+
Monitoroitu luontainen puhdistuminen	+	+	+	++	--	--	+	+

++ Soveltuu hyvin
+ Soveltuu varauksin
- Soveltuu erikoistapauksissa
-- Ei sovellu

AOA < c < YOA, haitta-ainepitoisuus alemman ja ylemmän ohjearvon välissä
YOYA < c < OJA, haitta-ainepitoisuus ylemmän ohjearvon ja ongelmajätteen raja-arvon välissä
c > OJA, haitta-ainepitoisuus yli ongelmajätteen raja-arvon

Kunnostusmenetelmien soveltuvuus asuinalueilla

Haitta-aineet Kunnostusmenetelmät/pitoisuudet	Metallit ja puolimetallit			Aromaattiset hiilivedyt ja öljyhiilivetyjen bensinijakeet (C ₆ -C ₁₀)			Polyaromaattiset hiilivedyt			PCB- ja PCDD/F-yhdisteet		
	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA
Massanvaihto	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Eristäminen	++	++	+	--	--	--	-	-	-	+	+	-
Huokoskaasukäsittely	--	--	--	-	-	-	-	-	-	--	--	--
Fytoremediaatio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maan huuhtelu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reaktiiviset seinämät	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monitoroitu luontainen puhdistuminen	--	--	--	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Haitta-aineet Kunnostusmenetelmät/pitoisuudet	Klooratut alifaattiset hiilivedyt			Kloorifenolit			Torjunta-aineet ja biosidit			Öljyhiilivetyjakeet C ₁₀ -C ₄₀ ja oksygenaattit		
	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA
Massanvaihto	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Eristäminen	-	--	--	-	-	-	+	+	-	-	-	-
Huokoskaasukäsittely	-	-	-	--	--	--	-	-	-	-	-	-
Fytoremediaatio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maan huuhtelu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reaktiiviset seinämät	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monitoroitu luontainen puhdistuminen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

++ Soveltuu hyvin
+ Soveltuu varauksin
- Soveltuu erikoistapauksissa
-- Ei sovelly

AOA < c < YOA, haitta-aineepitoisuus alemman ja ylemmän ohjearvon välissä
YOA < c < OJA, haitta-aineepitoisuus ylemmän ohjearvon ja ongelmajätteen raja-arvon välissä
c > OJA, haitta-aineepitoisuus yli ongelmajätteen raja-arvon

Kunnostusmenetelmien soveltuvuus virkistysalueilla

Haitta-aineet Kunnostusmenetelmät/pitoisuudet	Metallit ja puolimetallit			Aromaattiset hiilivedyt ja ölyhiilivetyjen bensini/jakeet (C ₅ -C ₁₀)			Polyyhliivetyt hiilivedyt			PCB- ja PCDD/F-yhdisteet		
	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA
Massanvaihto	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Eristäminen	++	++	++	--	++	--	++	+	++	++	++	++
Huokoskaasukäsittely	--	--	--	++	++	++	-	-	-	--	--	--
Fytoremediaatio	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-
Maan huuhdtelu	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
Reaktiiviset seinämät	-	-	-	+	+	+	+	+	+	--	--	--
Monitoroitu luontainen puhdistuminen	--	--	--	+	++	+	+	++	+	--	--	--

Haitta-aineet Kunnostusmenetelmät/pitoisuudet	Klooratut alfaattiset hiilivedyt			Kloorifenolit			Torjunta-aineet ja biosidit			Öljyhiilivetyjakeet C ₁₀ -C ₄₀ ja oksygenaattit		
	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YOA < c < OJA	c > OJA
Massanvaihto	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Eristäminen	+	--	--	+	-	-	+	+	+	+	+	+
Huokoskaasukäsittely	++	++	++	--	++	--	--	++	++	+	+	+
Fytoremediaatio	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+
Maan huuhdtelu	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Reaktiiviset seinämät	+	+	+	+	+	+	--	--	--	+	++	+
Monitoroitu luontainen puhdistuminen	+	+	+	+	++	+	--	--	--	+	++	+

++ Soveltuu hyvin
+ Soveltuu varauksin
- Soveltuu erikoistapauksissa
-- Ei soveltu

AOA < c < YOA, haitta-ainepitoisuus alemman ja ylemmän ohjearvon välissä
YOA < c < OJA, haitta-ainepitoisuus ylemmän ohjearvon ja ongelmajätteen raja-arvon välissä
c > OJA, haitta-ainepitoisuus yli ongelmajätteen raja-arvon

Kunnostusmenetelmien soveltuvuus liikennealueilla

Haitta-aineet	Metallit ja puolimetallit		Aromaattiset hiilivedyt ja öljyhiilivetyjen bensiniijakeet (C ₅ -C ₁₀)		Polyaromaattiset hiilivedyt		PCB- ja PCDD/F-yhdisteet	
	AOA < c < YOA	YO A < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YO A < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YO A < c < OJA
Kunnostusmenetelmät/pitoisuudet	AOA < c < YOA	YO A < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YO A < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YO A < c < OJA
Massanvaihto	++	++	++	++	++	++	++	++
Eristäminen	++	++	++	--	++	++	++	++
Huokoskaasukäsittely	--	--	--	++	++	++	--	--
Fytoremediaatio	-	-	-	-	-	-	-	-
Maan huuhtelu	+	+	+	+	+	+	-	-
Reaktiiviset seinämät	-	-	-	+	+	+	--	--
Monitoroitu luontainen puhdistuminen	--	--	--	+	++	++	--	--
Haitta-aineet	Klooratut alifaattiset hiilivedyt		Kloorifenolit		Torjunta-aineet ja biosidit		Öljyhiilivetyjakeet C ₁₀ -C ₄₀ ja oksygenaattit	
	AOA < c < YOA	YO A < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YO A < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YO A < c < OJA
Kunnostusmenetelmät/pitoisuudet	AOA < c < YOA	YO A < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YO A < c < OJA	c > OJA	AOA < c < YOA	YO A < c < OJA
Massanvaihto	++	++	++	++	++	++	++	++
Eristäminen	+	--	--	+	+	+	+	+
Huokoskaasukäsittely	++	++	++	--	--	--	+	+
Fytoremediaatio	-	-	-	-	-	-	-	-
Maan huuhtelu	-	-	-	+	+	+	+	+
Reaktiiviset seinämät	+	+	+	+	+	+	+	+
Monitoroitu luontainen puhdistuminen	+	+	+	+	--	--	+	+

++ Soveltuu hyvin
+ Soveltuu varauksin
- Soveltuu erikoistapauksissa
-- Ei sovellu

AOA < c < YOA, haitta-ainepitoisuus alemman ja ylemmän ohjearvon välissä
YO A < c < OJA, haitta-ainepitoisuus ylemmän ohjearvon ja ongelmajätteen raja-arvon välissä
c > OJA, haitta-ainepitoisuus yli ongelmajätteen raja-arvon

Kunnostusmenetelmien soveltuvuus teollisuus- ja työpaikka-alueilla

Haitta-aineet	Metallit ja puolimetallit			Aromaattiset hiihivedyt ja öljyhiihivetyjen bensiniijakeet (C ₅ -C ₁₀)			Polyaromaattiset hiihivedyt			PCB- ja PCDD/F-yhdisteet		
	AOA<c<YOA	YOA<c<OJA	c>OJA	AOA<c<YOA	YOA<c<OJA	c>OJA	AOA<c<YOA	YOA<c<OJA	c>OJA	AOA<c<YOA	YOA<c<OJA	c>OJA
Kunnostusmenetelmät/pitoisuudet												
Massanvaihto	++	++	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+
Eristäminen	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Huokoskaasukäsittely	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Fytoremediaatio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maan huuhtelu	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Reaktiiviset seinämät	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monitoroitu luontainen puhdistuminen	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Haitta-aineet	Klooratut alifaattiset hiihivedyt			Kloorifenolit			Torjunta-aineet ja biosidit			Öljyhiihivetyjakeet C ₁₀ -C ₄₀ ja oksygenaattit		
	AOA<c<YOA	YOA<c<OJA	c>OJA	AOA<c<YOA	YOA<c<OJA	c>OJA	AOA<c<YOA	YOA<c<OJA	c>OJA	AOA<c<YOA	YOA<c<OJA	c>OJA
Kunnostusmenetelmät/pitoisuudet												
Massanvaihto	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Eristäminen	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Huokoskaasukäsittely	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Fytoremediaatio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maan huuhtelu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reaktiiviset seinämät	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Monitoroitu luontainen puhdistuminen	+	+	+	+	++	+	--	--	--	+	++	+

++ Soveltuu hyvin
+ Soveltuu varauksin
- Soveltuu erikoistapauksissa
-- Ei sovellu

AOA < c < YOA, haitta-ainepitoisuus alemman ja ylemmän ohjearvon välissä
YOA < c < OJA, haitta-ainepitoisuus ylemmän ohjearvon ja ongelmajätteen raja-arvon välissä
c > OJA, haitta-ainepitoisuus yli ongelmajätteen raja-arvon